



# UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

## TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Modelado y simulación de proceso industrial productivo  
basado en FlexSim

Autor/es

DANIEL BRAVO RUEDA

Director/es

Emilio Jiménez Macías

Facultad

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Titulación

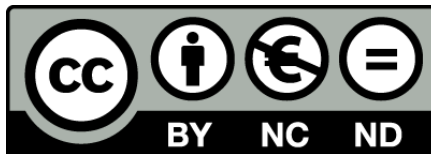
Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Departamento

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Curso académico

2019-20



***Modelado y simulación de proceso industrial productivo basado en FlexSim,***  
de DANIEL BRAVO RUEDA

(publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative  
Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.

Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los  
titulares del copyright.

© El autor, 2020

© Universidad de La Rioja, 2020

[publicaciones.unirioja.es](http://publicaciones.unirioja.es)

E-mail: [publicaciones@unirioja.es](mailto:publicaciones@unirioja.es)



**UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

## **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**TITULACIÓN: Grado en  
Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

**CURSO: 2019/2020 CONVOCATORIA: JULIO**

**TÍTULO:**

**Modelado y simulación de proceso industrial productivo  
basado en FlexSim**

**ESTUDIANTE: Daniel Bravo Rueda**

**TUTORES/AS: Emilio Jiménez Macías**

**DEPARTAMENTO: Ingeniería Eléctrica**

---

## RESUMEN

Nos encontramos en la actualidad en un ambiente cada vez más competitivo. La tecnología y la industria avanzan a un ritmo que hace décadas hubiéramos considerado imposible y los constantes avances en hardware y software de ordenadores juegan un papel fundamental.

En este contexto surge el software de simulación tridimensional FlexSim, que posibilita el diseño y desarrollo de procesos e instalaciones industriales. Nos permite analizar y predecir resultados antes de su implementación física, ahorrando tiempo y costes.

Este Trabajo de Fin de Grado tiene el objetivo de mostrar las ventajas del empleo del software FlexSim, que queda fuera del alcance de la titulación (en la que simplemente se estudian las bases del Modelado y Simulación, pero no se aplican paquetes de software comercial) enseñando al lector sus elementos y conceptos clave. Tras la introducción al entorno se realiza el completo diseño de un supuesto proceso industrial de producción y embotellado de zumo de naranja, llevando a cabo su simulación y el análisis de cuellos de botella.

Adicionalmente, con este estudio, se facilita a futuros alumnos del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática un modelo totalmente desarrollado que les facilite el aprendizaje y manejo del software, y su posterior aplicación profesional una vez egresados.

---

## ABSTRACT

Our society is currently in an increasingly competitive environment. Technology and industry advance at such a rate that decades ago we would have considered incredible, and the constant changes in computer's hardware and software play a fundamental role.

In this context the three-dimensional simulation software FlexSim emerges, which makes possible the design and development of industrial processes and facilities. It allows us to analyze and to predict results before their physical implementation, saving time and costs.

This Final Degree Project aims to show the advantages of using FlexSim software, which is outside the scope of the degree (in which the foundations of Modeling and Simulation are studied, without dealing with commercial software packages), showing the reader its key elements and concepts. After the introduction to the environment, the complete design of a process of production and bottling of orange juice is carried out, developing its simulation and the analysis of bottlenecks.

In addition, with this study, future students of the Degree in Industrial Electronics and Automatic Engineering are provided with a fully developed model that facilitates them the learning and handling of the software, and its subsequent professional application once graduated.

## **ÍNDICE GENERAL**

<b>MEMORIA .....</b>	<b>8</b>
<b>1. PRESENTACIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETO .....</b>	<b>8</b>
<b>3. ALCANCE .....</b>	<b>8</b>
<b>4. INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE FLEXSIM .....</b>	<b>9</b>
<b>4.1 Pestañas de configuración .....</b>	<b>10</b>
4.1.1 Breakdowns .....	10
4.1.2 Flow .....	11
4.1.3 Triggers .....	11
4.1.4 Labels .....	12
4.1.5 General .....	12
<b>4.2 Library .....</b>	<b>13</b>
4.2.1 Fixed Resources .....	13
4.2.2 Task Executioners .....	18
4.2.3 Conveyors .....	20
4.2.4 Warehousing .....	21
4.2.5 Fluid .....	22
<b>4.3 Dashboard .....</b>	<b>28</b>
<b>5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS .....</b>	<b>29</b>
<b>5.1 Producción de zumo de naranja .....</b>	<b>29</b>
5.1.1 Descripción del proceso .....	29
5.1.2 Elementos que intervienen en el proceso y sus parámetros iniciales .....	30
5.1.3 Estudio de cuellos de botella .....	31
<b>5.2 Reciclado de cajas y botellas .....</b>	<b>43</b>
5.2.1 Descripción del proceso .....	43
5.2.2 Elementos que intervienen en el proceso y sus parámetros iniciales .....	44
5.2.3 Estudio de cuellos de botella .....	45
<b>5.3 Producción de zumo de naranja .....</b>	<b>68</b>
5.3.1 Descripción del proceso .....	68
5.3.2 Elementos que intervienen en el proceso y sus parámetros iniciales .....	69
5.3.3 Estudio de cuellos de botella .....	70
<b>6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS .....</b>	<b>76</b>
<b>6.1 Conclusiones .....</b>	<b>76</b>



---

6.2 Líneas futuras .....	77
7. BIBLIOGRAFÍA .....	78
7.1 Descarga del software.....	78
7.2 Guías y manuales .....	78
7.2 Vídeos YouTube .....	78
ANEXOS.....	80
Tablas con datos de gráficas .....	80
1. Producción de zumo de naranja .....	80
1.1 Suministro de naranjas .....	80
1.2 Cintas transportadoras .....	81
1.3 Controles de calidad .....	81
1.4 Exprimidores .....	82
1.5 Colador .....	83
1.6 Conducto de distribución .....	84
1.7 Depósito .....	84
2. Reciclado de cajas y botellas .....	85
2.1 Suministro de cajas y botellas .....	85
2.2 Separador de cajas y botellas.....	85
2.3 Cinta transportadora de cajas y botellas .....	85
2.4 Cinta transportadora de cajas .....	86
2.5 Limpieza de botellas .....	87
2.6 Limpieza de cajas .....	88
2.7 Control de calidad de botellas .....	89
2.8 Control de calidad de cajas .....	90
2.9 Traslado de botellas .....	91
2.10 Traslado de cajas .....	93
3. Producto final embotellado .....	95
3.1 Embotellado .....	95
3.2 Etiquetado y taponado .....	95
3.3 Cinta transportadora .....	96
3.4 Control de calidad .....	97
Archivos FlexSim .....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Software Flexim .....	9
Figura 2: Pestaña Breakdowns .....	10
Figura 3: Pestaña Flow .....	11
Figura 4: Pestaña Triggers .....	11
Figura 5: Pestaña Labels .....	12
Figura 6: Pestaña General .....	12
Figura 7: Library .....	13
Figura 8: Source .....	13
Figura 9: Ejemplos Source .....	14
Figura 10: Ejemplo Source con llegadas programadas .....	14
Figura 11: Queue .....	14
Figura 12: Pestaña configuración Queue .....	15
Figura 13: Processor .....	15
Figura 14: Pestaña configuración Processor .....	15
Figura 15: Combiner .....	16
Figura 16: Configuración Combiner .....	16
Figura 17: Separator .....	16
Figura 18: Multiprocessor .....	17
Figura 19: Pestaña configuración Multiprocessor .....	17
Figura 20: Sink .....	17
Figura 21: Operator .....	18
Figura 22: Pestaña configuración Operator .....	18
Figura 23: Transporter .....	19
Figura 24: Pestaña configuración Transporter .....	19
Figura 25: Conveyor .....	20
Figura 26: Pestaña configuración Conveyor .....	20
Figura 27: Warehousing .....	21
Figura 28: Pestañas configuración Warehousing .....	21
Figura 29: FluidTicker .....	22
Figura 30: Pestaña configuración FluidTicker .....	22
Figura 31: FluidTank .....	23
Figura 32: Pestaña configuración FluidTank .....	23
Figura 33: Pestaña niveles FluidTank .....	23
Figura 34: FluidGenerator .....	24
Figura 35: Pestaña configuración FluidGenerator .....	24
Figura 36: FluidTerminator .....	24
Figura 37: FluidPipe .....	25
Figura 38: FluidConveyor .....	25
Figura 39: Pestaña configuración FluidPipe .....	25
Figura 40: Pestaña configuración FluidConveyor .....	25
Figura 41: FluidProcessor .....	26
Figura 42: Pestaña configuración FluidProcessor .....	26
Figura 43: ItemToFluid .....	27
Figura 44: Pestaña configuración ItemToFluid .....	27
Figura 45: Métodos acceso Dashboard .....	28
Figura 46: Ejemplos Dashboard .....	28
Figura 47: Proceso producción zumo de naranja .....	29
Figura 48: Gráfica litros de zumo-naranjas/minuto en dispensadores .....	31
Figura 49: Gráfica litros de zumo-velocidad en cintas transportadoras .....	32
Figura 50: Gráfica litros de zumo-longitud en cintas transportadoras .....	33



---

Figura 51: Gráfica litros de zumo-contenido máximo en controles de calidad .....	34
Figura 52: Gráfica litros de zumo-duración proceso en controles de calidad .....	35
Figura 53: Gráfica litros de zumo-naranjas buenas en controles de calidad .....	36
Figura 54: Gráfica litros de zumo-capacidad máxima en exprimidores .....	37
Figura 55: Gráfica litros de zumo-salida máxima en exprimidores .....	38
Figura 56: Gráfica litros de zumo-capacidad máxima en coladores .....	39
Figura 57: Gráfica litros de zumo-entrada/salida máxima en colador .....	40
Figura 58: Gráfica litros de zumo-contenido máximo en conducto distribución .....	41
Figura 59: Gráfica litros de zumo-entrada máxima en depósito .....	42
Figura 60: Proceso reciclado de cajas y botellas .....	43
Figura 61: Gráfica botellas almacenadas-cajas por minuto en descarga .....	45
Figura 62: Gráfica cajas almacenadas-cajas por minuto en descarga .....	46
Figura 63: Gráfica botellas almacenadas-duración proceso en separado .....	47
Figura 64: Gráfica cajas almacenadas-duración proceso en separado .....	48
Figura 65: Gráfica botellas almacenadas-velocidad en cinta transportadora .....	49
Figura 66: Gráfica botellas almacenadas-longitud en cinta transportadora .....	50
Figura 67: Gráfica cajas almacenadas-velocidad en cinta transportadora .....	51
Figura 68: Gráfica cajas almacenadas-longitud en cinta transportadora .....	52
Figura 69: Gráfica botellas almacenadas-contenido máximo en limpieza .....	52
Figura 70: Gráfica botellas almacenadas-duración proceso en limpieza .....	54
Figura 71: Gráfica cajas almacenadas-tiempo de preparación en limpieza .....	55
Figura 72: Gráfica cajas almacenadas-duración proceso en limpieza .....	56
Figura 73: Gráfica botellas almacenadas-contenido máximo en control de calidad .....	57
Figura 74: Gráfica botellas almacenadas-duración proceso en control de calidad .....	58
Figura 75: Gráfica botellas almacenadas-botellas buenas en control de calidad .....	59
Figura 76: Gráfica cajas almacenadas-duración del proceso en control de calidad .....	60
Figura 77: Gráfica cajas almacenadas-cajas buenas en control de calidad .....	61
Figura 78: Gráfica botellas almacenadas-botellas por viaje en traslado .....	62
Figura 79: Gráfica botellas almacenadas-velocidad paleta en traslado .....	63
Figura 80: Gráfica botellas almacenadas-tiempo carga y descarga en traslado .....	64
Figura 81: Gráfica cajas almacenadas-cajas por viaje en traslado .....	65
Figura 82: Gráfica cajas almacenadas-velocidad paleta en traslado .....	66
Figura 83: Gráfica cajas almacenadas-tiempo carga y descarga en traslado .....	67
Figura 84: Proceso producto final embotellado .....	68
Figura 85: Tiempo-duración proceso en embotellado .....	70
Figura 86: Tiempo-duración proceso en etiquetado y taponado .....	71
Figura 87: Tiempo-velocidad en cinta transportadora .....	72
Figura 88: Tiempo-longitud en cinta transportadora .....	73
Figura 89: Tiempo-contenido máximo en control de calidad .....	74
Figura 90: Tiempo-duración proceso en control de calidad .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Naranjas cada minuto en dispensadores .....	81
Tabla 2: Velocidad cintas producción zumo .....	82
Tabla 3: Longitud cintas producción zumo .....	82
Tabla 4: Contenido máximo control de calidad producción zumo .....	82
Tabla 5: Duración proceso control de calidad producción zumo .....	83
Tabla 6: Naranjas buenas control de calidad producción zumo .....	83
Tabla 7: Capacidad máxima exprimidores producción zumo .....	83
Tabla 8: Salida máxima exprimidores producción zumo .....	84
Tabla 9: Capacidad máxima colador producción zumo .....	84
Tabla 10: Entrada/salida colador producción zumo .....	84
Tabla 11: Contenido máximo conducto distribución producción zumo .....	85
Tabla 12: Entrada máxima depósito producción zumo .....	85
Tabla 13: Suministro de cajas con botellas reciclado .....	86
Tabla 14: Duración proceso separador reciclado .....	86
Tabla 15: Velocidad cinta botellas reciclado .....	86
Tabla 16: Longitud cinta botellas reciclado .....	87
Tabla 17: Velocidad cinta cajas reciclado .....	87
Tabla 18: Longitud cinta cajas reciclado .....	88
Tabla 19: Contenido máximo limpieza botellas reciclado .....	88
Tabla 20: Duración proceso limpieza botellas reciclado .....	88
Tabla 21: Tiempo de preparación limpieza cajas reciclado .....	89
Tabla 22: Duración proceso limpieza cajas reciclado .....	90
Tabla 23: Contenido máximo control de calidad botellas reciclado .....	90
Tabla 24: Duración proceso control de calidad botellas reciclado .....	91
Tabla 25: Botellas buenas control de calidad botellas reciclado .....	91
Tabla 26: Duración proceso control de calidad cajas reciclado .....	91
Tabla 27: Cajas buenas control de calidad cajas reciclado .....	92
Tabla 28: Botellas por viaje traslado botellas reciclado .....	92
Tabla 29: Velocidad paleta traslado botellas reciclado .....	93
Tabla 30: Carga y descarga traslado botellas reciclado .....	93
Tabla 31: Cajas por viaje traslado cajas reciclado .....	94
Tabla 32: Velocidad paleta traslado cajas reciclado .....	94
Tabla 33: Carga y descarga traslado cajas reciclado .....	95
Tabla 34: Duración proceso embotella producto final .....	96
Tabla 35: Duración proceso etiquetado y taponado producto final .....	96
Tabla 36: Velocidad cinta transportadora producto final .....	97
Tabla 37: Longitud cinta transportadora producto final .....	97
Tabla 38: Contenido máximo control de calidad producto final .....	98
Tabla 39: Duración proceso control de calidad producto final .....	98

## **1. PRESENTACIÓN**

Este trabajo ha sido realizado por Daniel Bravo Rueda, alumno del cuarto curso del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. Se presenta con el objeto de la obtención del título de Graduado en Ingeniería Industrial por la Universidad de La Rioja en el presente curso académico.

## **2. OBJETO**

Este proyecto tiene como objeto principal el modelado y simulación de un proceso industrial productivo basado en FlexSim, así como la realización del estudio de los cuellos de botella de los distintos elementos que intervienen en el proceso.

## **3. ALCANCE**

El alcance de este proyecto contempla las fases necesarias para cumplir con los objetivos establecidos. Dentro de estas fases se han previsto:

- Adquisición e instalación del software de modelado de simulación tridimensional FlexSim.
- Formación autónoma en el uso del software.
- Modelado de un proceso industrial productivo propio.
- Simulación de todos los elementos de dicho proceso industrial productivo con el fin de analizar los posibles cuellos de botella existentes.

Ante la imposibilidad de realizar un proceso único, debido a la licencia gratuita del software, se ha optado por realizar tres procesos cuyas entradas y salidas estén ligadas.

---

## 4. INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE FLEXSIM

FlexSim es un software de simulación 3D que permite modelar y mejorar sistemas de producción ya existentes o propuestos por nosotros mismos. El programa solo opera con los idiomas inglés y chino, si bien consta de vídeos y manuales de ayuda en castellano [4].



Figura 1: Software FlexSim

Se empleará para la elaboración de este Trabajo de Fin de Grado la licencia gratuita de FlexSim 2020. Esta es fácilmente obtenible a través de su página oficial [1]. Bastará con registrarse, empleando un correo electrónico, e indicar los fines de uso, ya sean académicos o industriales. Tras estos sencillos pasos, solo quedará descargar e instalar el programa de poco más de un Gb de peso. Esta licencia nos permitirá explorar y experimentar con el software, con la única limitación de que el número máximo de modelos será de treinta, problema fácilmente salvable dividiendo nuestro proceso industrial en procesos más pequeños.

Durante este apartado se abordarán diversas nociones básicas que faciliten la comprensión del funcionamiento de los distintos elementos del software empleados durante el desarrollo del Trabajo de Fin de Grado.

## 4.1 Pestañas de configuración

Tras hacer doble clic en cualquier modelo 3D, aparecerá ante nosotros una ventana de propiedades con distintas pestañas. La primera de ellas se corresponderá con el elemento en cuestión y será explicada para cada uno de los modelos en el siguiente apartado. Dependiendo de las configuraciones necesarias a realizar en cada modelo podrán aparecer una o varias de las siguientes pestañas.

### 4.1.1 Breakdowns

Esta pestaña facilita la gestión y programación de eventos, como fallos o interrupciones en el funcionamiento de algún elemento del proceso. El usuario podrá indicar el momento en el que ocurrirá el suceso, su duración y los procedimientos a seguir al inicio y fin del mismo.

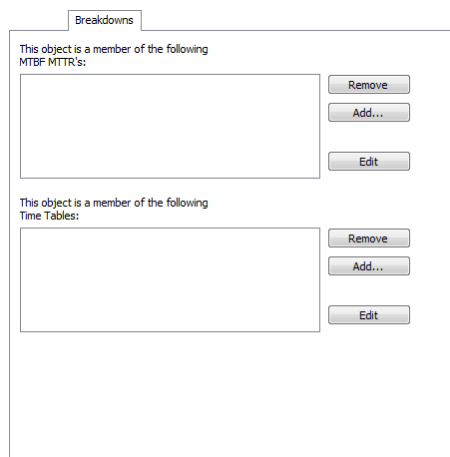


Figura 2: Pestaña Breakdowns

### 4.1.2 Flow

El cometido principal de esta pestaña es el de la programación de las salidas y las entradas de los distintos elementos. Nos permite administrar las prioridades ante múltiples entradas y salidas y determinar, en caso de haberlos, los criterios de entrada. El uso de transporte para los elementos salientes también será habilitado en este apartado.

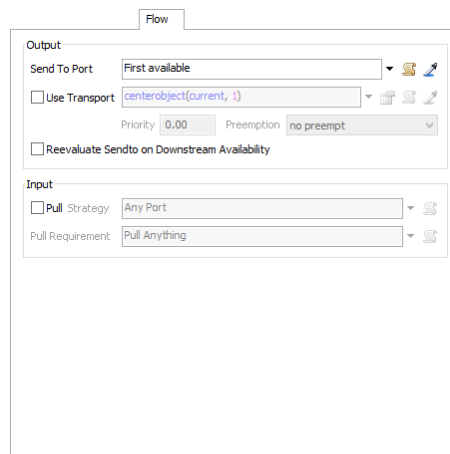


Figura 3: Pestaña Flow

### 4.1.3 Triggers

Un trigger es un elemento que desencadena un evento, y eso es lo que nos permite programar esta pestaña. En ella podremos programar distintos sucesos que ocurrirán al darse momentos concretos, como pueden ser el inicio, el fin, la parada del proceso o la recepción de un mensaje. En cualquiera de esos momentos dados, el trigger hará funcionar la lógica que le ha sido programada, permitiéndole, entre otras, las siguientes acciones:

- Abrir y cerrar entradas tanto propias como de otros elementos.
- Actualizar el valor de variables.
- Enviar mensaje.
- Liberar a los operarios.
- Alterar la posición, tamaño, forma o color de algún elemento.
- Finalizar la simulación.



Figura 4: Pestaña Triggers

#### 4.1.4 Labels

En este apartado realizaremos la asignación de variables al proceso. Estableceremos su valor inicial e irán cambiando según la lógica con la que hayamos programado los triggers. Podremos, además, elegir si queremos resetear o no los valores de las variables, al realizar el reset de la simulación.

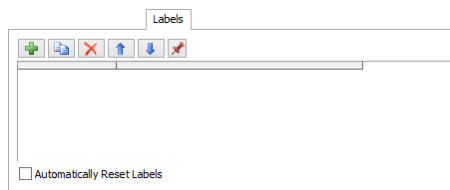


Figura 5: Pestaña Labels

#### 4.1.5 General

Aquí estableceremos la apariencia y personalización del modelo. Elegiremos su color y determinaremos su tamaño orientación y forma. Escogeremos también si mostrar o no su nombre o sus conexiones con otros elementos. Finalmente, en la sección de puertos, podremos realizar la numeración de las entradas y salidas en caso de haber más de una.

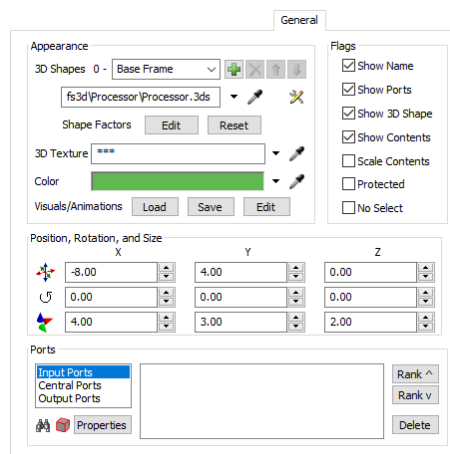


Figura 6: Pestaña General

## 4.2 Library

En este apartado se mostrarán todos los modelos 3D empleados durante la simulación del proceso productivo y se hará hincapié en aquellos parámetros que el usuario deberá configurar para lograr el funcionamiento deseado.

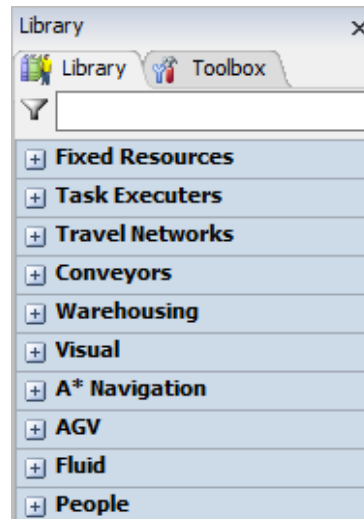


Figura 7: Library

### 4.2.1 Fixed Resources

#### 4.2.1.1 Source

Este modelo es la base de la simulación. Es el encargado de aportar la materia prima o los elementos sólidos con los que se trabajará durante el proceso. Estos podrán ser desde formas básicas, como cuadrados, cilindros o esferas, hasta modelos más desarrollados, como cajas, palets e incluso personas.

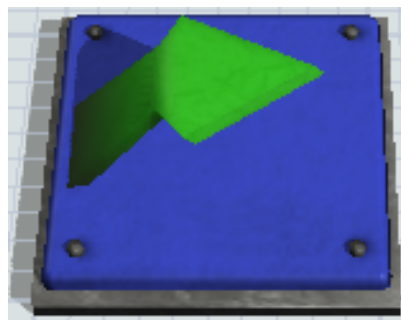


Figura 8: Source



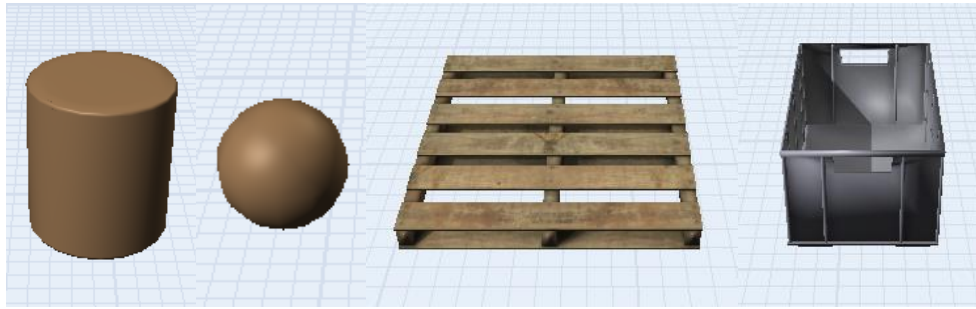


Figura 9: Ejemplos Source

En cuanto a su configuración, al margen de elegir qué elemento queremos que nos aporte, deberemos escoger entre un suministro pseudoaleatorio o que siga una distribución estadística y suministros con cantidades y horarios programados por nosotros, como se muestra en la siguiente figura.

	ArrivalTime	ItemName	Quantity
Arrival1	0	Product	60
Arrival2	60	Product	20
Arrival3	150	Product	50
Arrival4	300	Product	120
Arrival5	320	Product	5

Figura 10: Ejemplo Source con llegadas programadas

#### 4.2.1.2 Queue

Se trata de un modelo que simula una parada o punto intermedio del proceso. Almacena los distintos elementos entrantes hasta que estos estén listos para ser trasladados o usados en procesos posteriores.

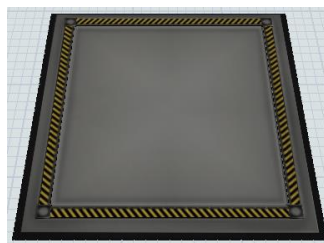


Figura 11: Queue

En cuanto a su configuración, deberemos indicar el número máximo de elementos que podrá contener y la forma en que estos serán apilados. Por defecto, trabajará usando el sistema FIFO, aunque podremos cambiarlo a LIFO si nos fuera más conveniente, y la salida de los elementos será de uno en uno.

En caso de querer aumentar esta cantidad, deberemos elegir trabajar por lotes y escoger el tamaño de los mismos. Adicionalmente podremos configurar un tiempo de espera máximo para generar dicho lote.

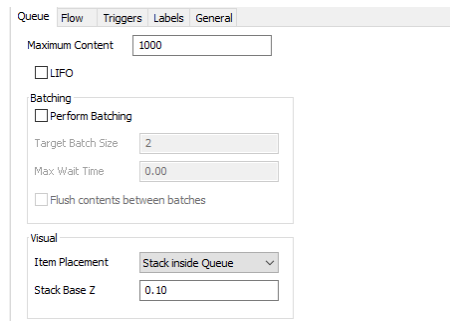


Figura 12: Pestaña configuración Queue

#### 4.2.1.3 Processor

Es el modelo encargado de emular un proceso durante la simulación. Llegarán a él el elemento o elementos con los que estemos trabajando y al cabo de un tiempo elegido por nosotros los remitirá al lugar que se le haya indicado. Se deberá configurar si está o no controlado por un operario, el número máximo de elementos que podrá contener y los tiempos de preparación y duración del proceso. Se podrá elegir también si mostrar visualmente cómo los elementos avanzan a lo largo de la cinta.

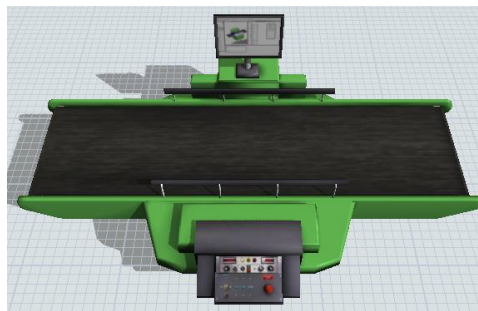


Figura 13: Processor

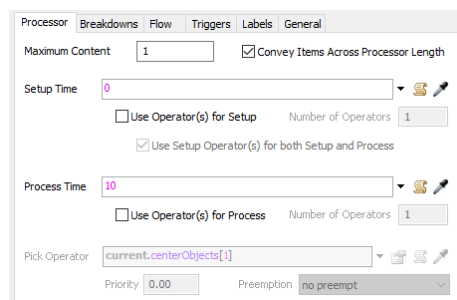


Figura 14: Pestaña configuración Processor

#### 4.2.1.4 *Combiner*

Gracias a este modelo, podremos realizar la combinación de distintos tipos de elementos. Nos permitirá, por ejemplo, introducir elementos en cajas o apilar dichas cajas en palets. Los parámetros a configurar son idénticos a los del anterior modelo, con la salvedad de que para este nos surge una nueva pestaña, en la que deberemos indicar cómo combinar los distintos elementos entrantes.

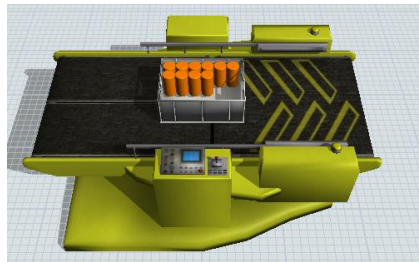


Figura 15: Combiner

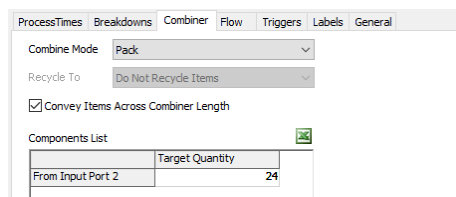


Figura 16: Configuración Combiner

#### 4.2.1.5 *Separator*

Con él, realizaremos el proceso opuesto al combinator. Partiremos de varios elementos combinados, que separaremos y distribuiremos a diversas salidas

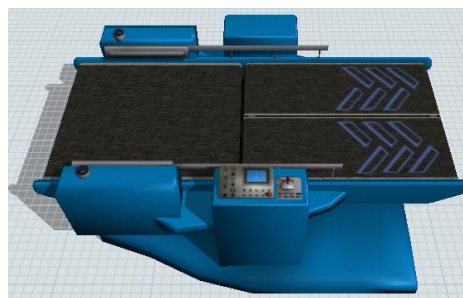


Figura 17: Separator

#### 4.2.1.6 Multiprocessor

El multiprocessor permite simular la realización de diversos procesos secuenciales, debiéndose configurar la duración de cada uno de los mismos y si intervendrán o no operarios. El elemento entrante será sometido, uno a uno, a todos los procesos y una vez haya finalizado con el último y haya sido remitido al siguiente punto, podrá entrar un nuevo elemento y repetirse la secuencia.



Figura 18: Multiprocessor

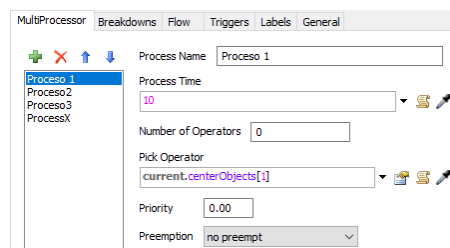


Figura 19: Pestaña configuración Multiprocessor

#### 4.2.1.7 Sink

Se trata de un modelo que se encarga de gestionar los residuos sólidos que puedan aparecer durante el proceso. Todo elemento que le sea trasladado será eliminado y desaparecerá de la simulación.

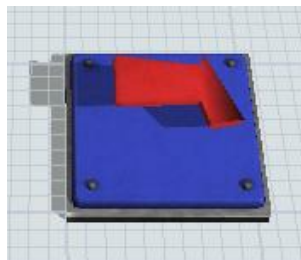


Figura 20: Sink

## 4.2.2 Task Executioners

### 4.2.2.1 Operator

Al diseñar nuestro proceso podremos escoger entre distintos modelos de operarios para realizar las tareas encomendadas.



Figura 21: Operator

Deberemos configurar la forma en que estos se moverán y el número de elementos con los que podrán cargar. También tendremos que indicar el tiempo que tardarán en cargar y descargar cada uno de ellos y la forma en que trabajen ante distintos posibles destinos. Adicionalmente, al estar en movimiento, deberemos especificar los parámetros de colisión para evitar choques entre ellos o incluso atropellos si hubiera transportes involucrados.

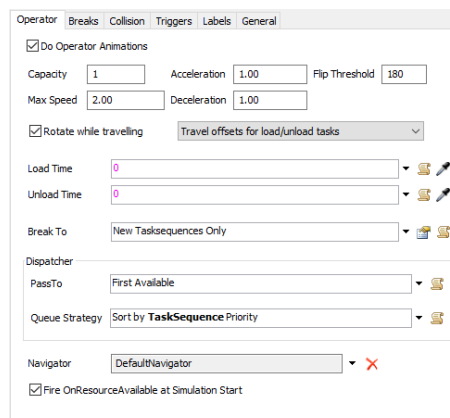


Figura 22: Pestaña configuración Operator

#### 4.2.2.2 *Transporter*

Se trata de un modelo para simular el traslado de material de un lugar a otro. La configuración es idéntica a la de los operarios y realizará lo mismo que ellos, con la salvedad de que no podrá atender procesos.



Figura 23: Transporter

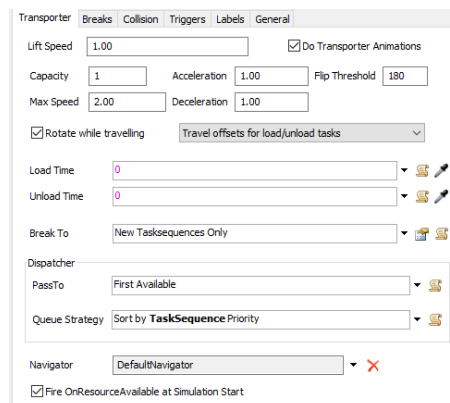


Figura 24: Pestaña configuración Transporter

### 4.2.3 Conveyors

Con los conveyors representaremos el traslado de elementos de un punto a otro a través de cintas transportadoras. Estas podrán ser rectas, curvas o una combinación de ambas.

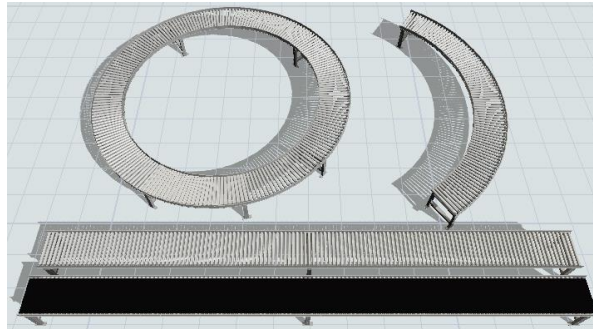


Figura 25: Conveyor

Obviando parámetros visuales que no afectarán a la simulación deberemos definir la velocidad a la que avanzará la cinta o el espacio entre elementos, lo que delimitará el máximo de elementos simultáneos sobre la misma. La cinta, por defecto, se irá moviendo siempre que pueda, debiendo configurar el apartado “Power and Free” en caso de querer definir intervalos de movimiento. Adicionalmente, al margen del tamaño físico con el que aparecen en la simulación, deberemos indicar la longitud real a emplear a efectos de cálculo.

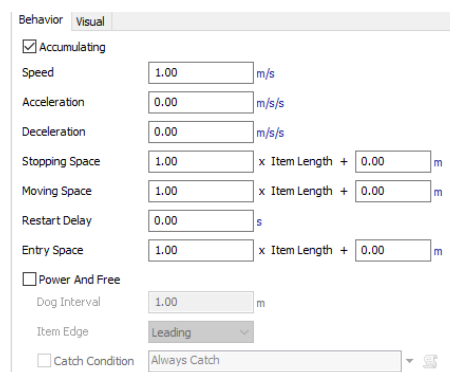


Figura 26: Pestaña configuración Conveyor

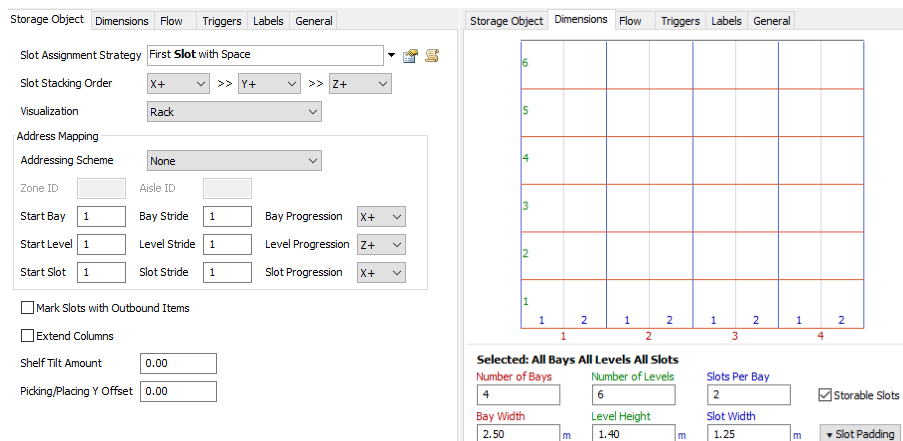
#### 4.2.4 Warehousing

Gracias a esta librería, contaremos con diversos modelos con los que podremos simular el almacenado de aquello que deseemos, ya sean materias primas, productos intermedios o productos acabados.



Figura 27: Warehousing

Si quisiéramos que el almacenado sucediera de una forma concreta, delimitando la cantidad y el tamaño de los estantes o la forma en que se apilen los distintos elementos, deberemos configurar las pestañas que se muestran en la siguiente figura.



Storage Object Dimensions Flow Triggers Labels General

Slot Assignment Strategy: First Slot with Space

Slot Stacking Order: X+ >> Y+ >> Z+

Visualization: Rack

Address Mapping

Addressing Scheme: None

Zone ID: Aisle ID:

Start Bay: 1 Bay Stride: 1 Bay Progression: X+

Start Level: 1 Level Stride: 1 Level Progression: Z+

Start Slot: 1 Slot Stride: 1 Slot Progression: X+

☐ Mark Slots with Outbound Items

☐ Extend Columns

Shelf Tilt Amount: 0.00

Picking/Placing Y Offset: 0.00

Storage Object Dimensions Flow Triggers Labels General

Selected: All Bays All Levels All Slots

Number of Bays: 4 Number of Levels: 6 Slots Per Bay: 2

Bay Width: 2.50 m Level Height: 1.40 m Slot Width: 1.25 m

☒ Storable Slots

Slot Padding

Figura 28: Pestañas configuración Warehousing



#### 4.2.5 Fluid

Haremos uso de esta librería en aquellos casos en los que queramos trabajar, en algún momento de nuestra simulación, con materiales en estado líquido.

##### 4.2.5.1 FluidTicker

Es el elemento imprescindible para el uso de cualquiera de los modelos de esta librería. Se incluirá automáticamente al introducir cualquier otro modelo, evitando así fallos. Se trata de un reloj con el que podremos hacer que el tiempo para los elementos de esta librería transcurra más lento o más rápido que para el resto de la simulación, gestionando así la velocidad a la que los líquidos serán transferidos.



Figura 29: FluidTicker

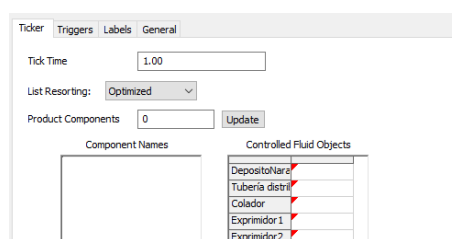


Figura 30: Pestaña configuración FluidTicker

#### 4.2.5.2 FluidTank

Se trata de un depósito para líquidos con un indicador de nivel a su izquierda. Deberemos configurar tanto su contenido inicial y máximo como los ratios de entrada y salida. Podremos, además, establecer tres marcas (nivel bajo, nivel medio y nivel alto), que podrán ser utilizadas para habilitar triggers.

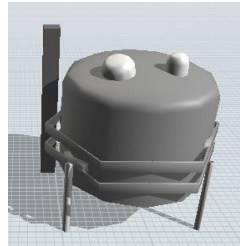


Figura 31: FluidTank

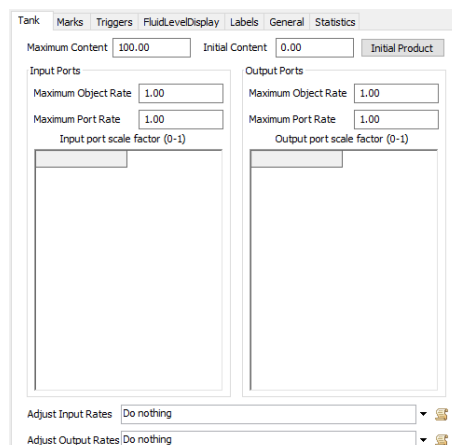


Figura 32: Pestaña configuración FluidTank

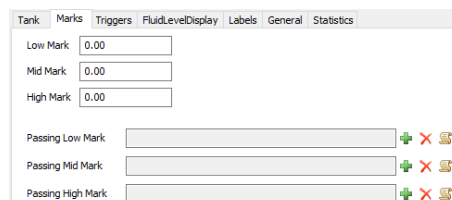


Figura 33: Pestaña niveles FluidTank

#### 4.2.5.3 *FluidGenerator*

De manera similar al anterior modelo funciona también como un depósito. La diferencia radica en que este no tiene una entrada, sino que él mismo cuenta con un parámetro con el que autorrellenarse de la manera que le sea indicada. Salvo por esta disparidad, la configuración y componentes son idénticos al fluidtank.

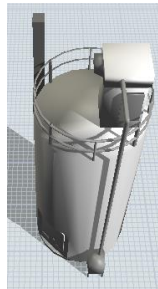


Figura 34: FluidGenerator

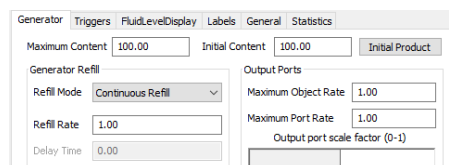


Figura 35: Pestaña configuración FluidGenerator

#### 4.2.5.4 *FluidTerminator*

De manera similar a lo que hacía el sink con los sólidos, con este modelo gestionaremos los desechos de líquidos que puedan aparecer durante la simulación.

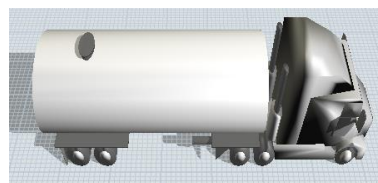


Figura 36: FluidTerminator

#### 4.2.5.5 FluidMovement

Al trabajar con líquidos, se darán situaciones en las que estos tendrán que ser trasladados de un lugar a otro. Es aquí donde aparecen dos modelos que simulan el tiempo de traslado de líquidos. Por un lado, tendremos las tuberías, conductos cerrados en los que controlaremos los ratios de entrada y salida así, como su contenido máximo, mientras que, por otro, estarán los conveyor, conductos abiertos que permiten ver el líquido circulante y que permiten configuraciones adicionales a las de las tuberías.

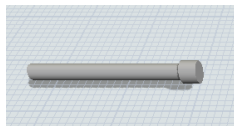


Figura 37: FluidPipe

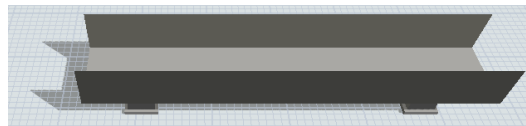


Figura 38: FluidConveyor

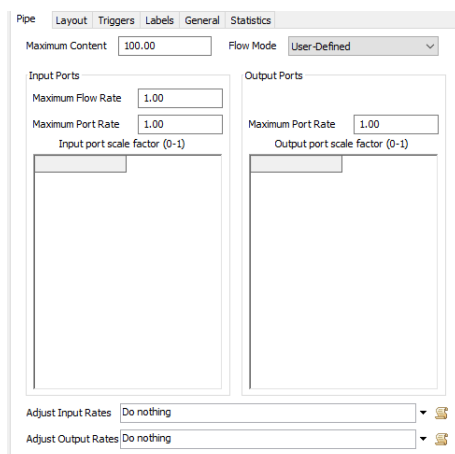


Figura 39: Pestaña configuración FluidPipe

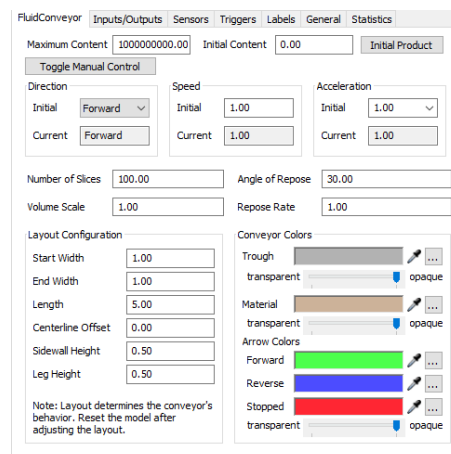


Figura 40: Pestaña configuración FluidConveyor

#### 4.2.5.6 FluidProcessor

Este modelo es el equivalente al processor que hemos visto en apartados anteriores de la librería, pero aplicado a aquellos casos en los que trabajemos con líquidos. En cuanto a la configuración deberemos elegir un valor único valor para el ratio de salida y entrada de los líquidos. Podremos fijar un porcentaje del líquido como pérdidas y, aunque no sea intuitivo en absoluto, la duración del proceso será determinada a través del contenido máximo. A más contenido máximo se podría decir que el fluido tendría que realizar un mayor recorrido, siendo más lento por tanto el proceso.

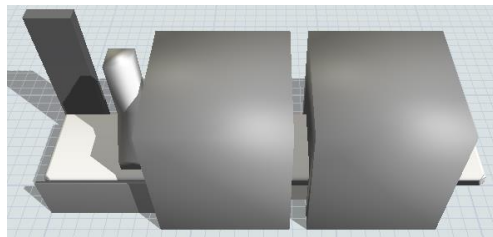


Figura 41: FluidProcessor

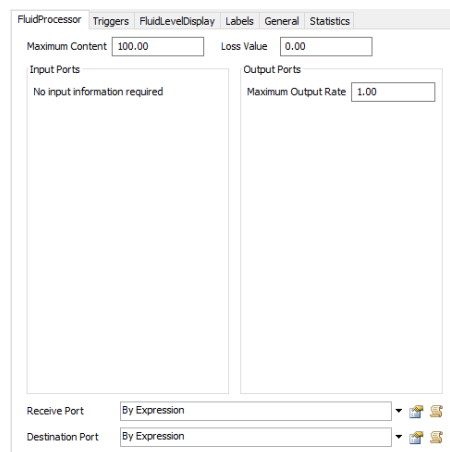


Figura 42: Pestaña configuración FluidProcessor

#### 4.2.5.7 *ItemToFluid*

Se trata de un modelo que nos permite realizar la conversión de sólido a líquido, posibilitando así trabajar simultáneamente con sólidos y líquidos en una misma simulación. De manera análoga, el modelo FluidToItem transformará los líquidos en sólidos. En este modelo se nos permitirá programar la entrada y la salida de forma independiente. Podremos elegir también su contenido máximo y si se producen pérdidas de material durante la conversión

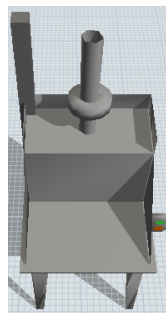


Figura 43: ItemToFluid

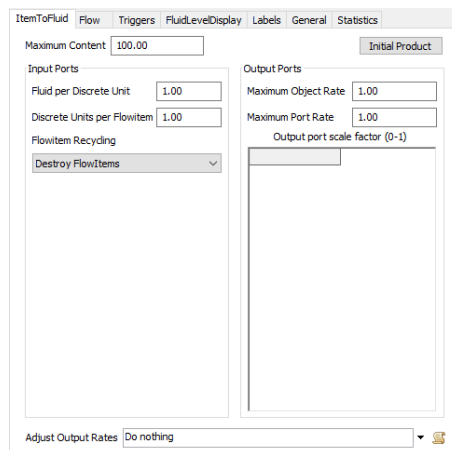


Figura 44: Pestaña configuración ItemToFluid

### 4.3 Dashboard

El apartado de dashboard de FlexSim nos permite realizar una representación gráfica progresiva durante la simulación de aquellos elementos que deseemos estudiar de diversas formas. Podremos representar tablas indicando los valores actualizados de variables a tiempo real, la progresión frente al tiempo de salidas y entradas o gráficas que nos indiquen los porcentajes de tiempo de cada uno de los estados durante un proceso.

Hay dos métodos para acceder fácilmente a la dashboard: a través de la barra superior de herramientas y a la derecha del nombre en cualquiera de los modelos.

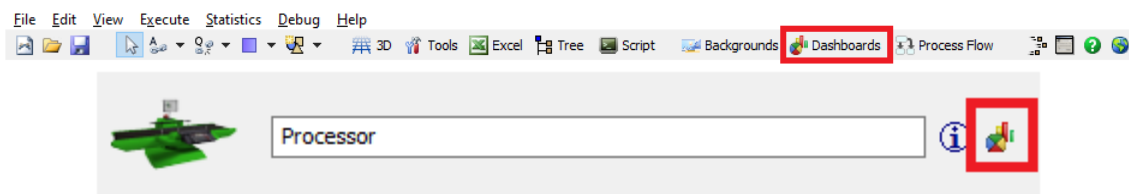


Figura 45: Métodos acceso Dashboard

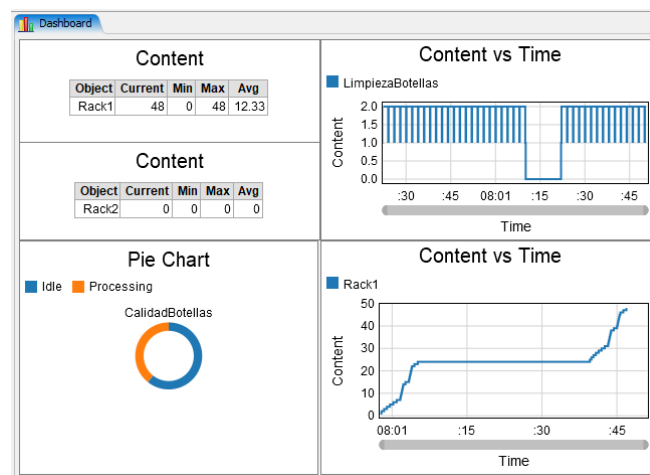


Figura 46: Ejemplos Dashboard

## 5 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS

### 5.1 Producción de zumo de naranja

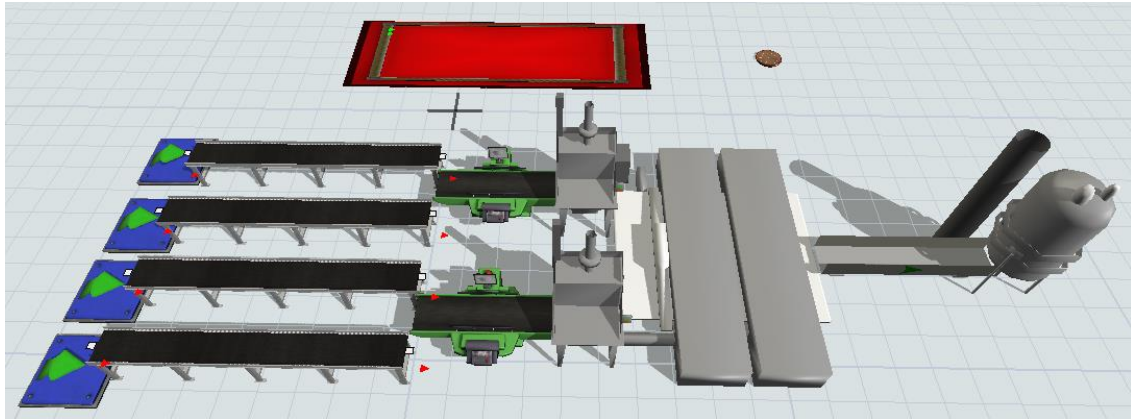


Figura 47: Proceso producción zumo de naranja

#### 5.1.1 Descripción del proceso

La producción de zumo es abastecida desde cuatro puntos. Las naranjas son trasladadas a través de cuatro cintas transportadoras, partiendo una de cada punto de abastecimiento, hasta dos puestos de control de calidad, llegando a cada puesto el material de dos cintas. Los controles de calidad se encargan de separar las naranjas buenas de las malas. Las buenas irán desde cada puesto de control hasta uno de los dos exprimidores y las malas irán a un punto de almacenaje común. Los exprimidores transformarán el producto inicial, sólido, en líquido y ambos desembocarán en un proceso final de colado. Durante este proceso de exprimido se reducirá el peso de las naranjas a un 20%, otorgándoles de esta forma una masa unitaria de 200 gramos. Adicionalmente se producirán unas pérdidas del 25% asociadas a las cáscaras de las naranjas exprimidas. En el proceso de colado se introducirán nuevamente unas pérdidas del 33% del producto entrante, lo que se correspondería con la pulpa que ha sido colada. Se obtendrán, de esta forma, 100 ml de zumo por cada 200 gramos de naranjas que pasen el control de calidad. El zumo ya colado será trasladado hasta un depósito, donde quedará almacenado y podrá ser utilizado en procesos posteriores de embotellado.



**5.1.2 Elementos que intervienen el proceso y sus parámetros iniciales**

- I. Cuatro dispensadores de naranjas
  - 100 naranjas cada minuto.
- II. Cuatro cintas transportadoras
  - 8 metros de longitud.
  - Velocidad de 1 metro/segundo.
- III. Dos controles de calidad
  - Máximo de 10 naranjas simultáneamente.
  - 2 segundos de duración del proceso.
  - 90% de las naranjas consideradas como buenas.
- IV. Dos exprimidores
  - 200 naranjas de capacidad máxima.
  - Salida máxima de 1 litro/segundo.
- V. Colador
  - 20 litros de capacidad máxima.
  - Entrada y salida máximas de 1 litro/segundo.
- VI. Conducto de distribución
  - 4 litros de capacidad máxima.
- VII. Depósito de zumo
  - 10.000 litros de capacidad máxima.
  - Entrada máxima de 1 litro/segundo.

### 5.1.3 Estudio de cuellos de botella

Se realizará el estudio simulando la producción de litros de zumo de naranja durante una hora. Con las condiciones iniciales anteriormente mencionadas se obtienen 2042,75 litros/hora. Para facilitar el seguimiento, las figuras presentarán una marca de color. El valor inicial quedará reflejado en color naranja, mientras que el tramo que optimiza la producción se ofrecerá en color verde.

#### 5.1.3.1 Análisis dispensadores

##### 5.1.3.1.1 Suministro de naranjas

La gráfica de la figura 48 nos muestra una tendencia creciente en la producción de zumo de naranja al aumentar el suministro de naranjas por minuto. Esta tendencia se ve interrumpida en el tramo correspondiente a las 95-96 naranjas por minuto, siendo este el suministro óptimo para la producción. Todo suministro que exceda dicho punto resultará inútil, al no aumentar más la producción.

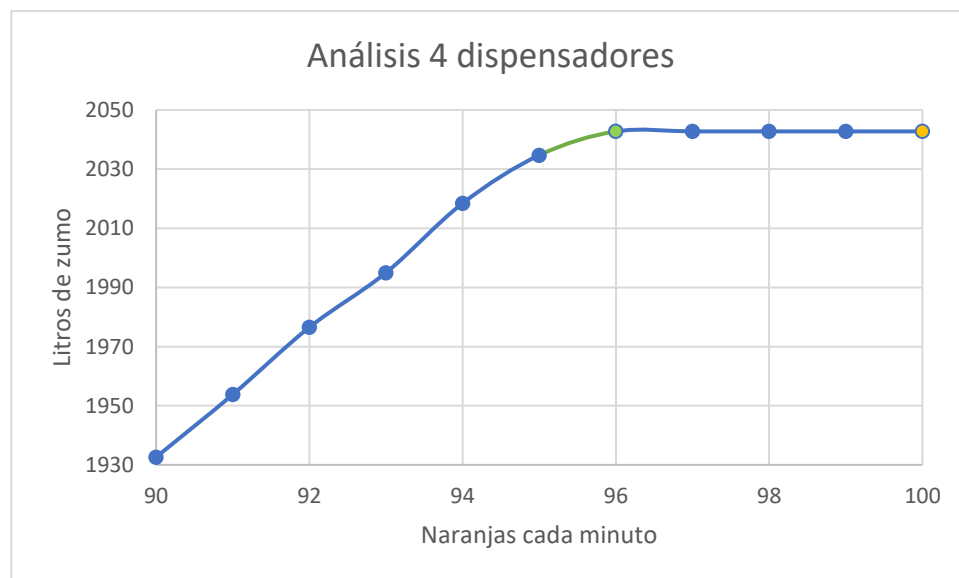


Figura 48: Gráfica litros de zumo-naranjas/minuto en dispensadores

### 5.1.3.2 *Análisis cintas transportadoras*

#### 5.1.3.2.1 Velocidad cintas transportadoras

Tal y como vemos en la gráfica de la figura 49, la producción se ve enormemente afectada en el tramo próximo a 1 m/s. La producción óptima se encontraría a una velocidad de 0,95 m/s, aunque, debido a la volatilidad en caso de variaciones mínimas se aconsejaría emplear velocidades superiores a 1,1m/s. A partir de este punto la producción es la misma y la diferencia con el punto óptimo es de apenas un 0,5%.

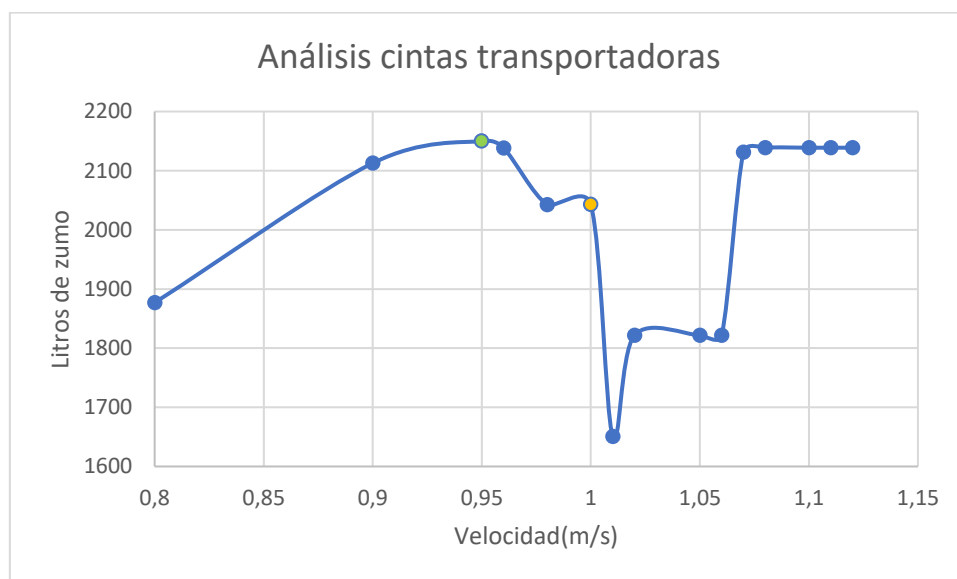


Figura 49: Gráfica litros de zumo-velocidad en cintas transportadoras

### 5.1.3.2.2 Longitud cintas transportadoras

Podemos apreciar en la gráfica de la figura 50 la relevancia de la longitud de la cinta en la producción final. La longitud establece el número máximo de naranjas que podrán estar simultáneamente en la cinta, de forma que en longitudes inferiores a ocho metros habrá breves momentos en los que los procesos posteriores queden desabastecidos. Sin embargo, a partir de los nueve metros, se llega a una producción continua, logrando maximizarla.

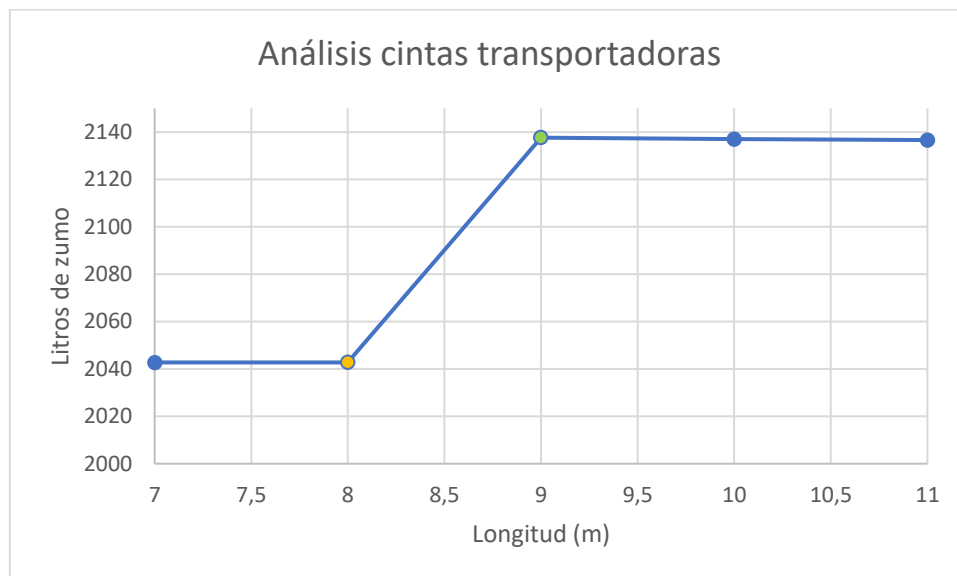


Figura 50: Gráfica litros de zumo-longitud en cintas transportadoras

### 5.1.3.3 *Análisis controles de calidad*

#### 5.1.3.3.1 Contenido máximo

Observando la gráfica de la figura 51, nos damos cuenta de que ante contenidos máximos inferiores a las siete naranjas la producción cae en picado. Esto se debe a que en esos casos se produce una saturación en la cinta situada inmediatamente antes de este proceso, de forma que al cabo de una hora acaban llegando menos naranjas al control de calidad, por lo que la producción final se ve disminuida. Buscaremos, por tanto, contenidos máximos para este proceso iguales o superiores a siete.

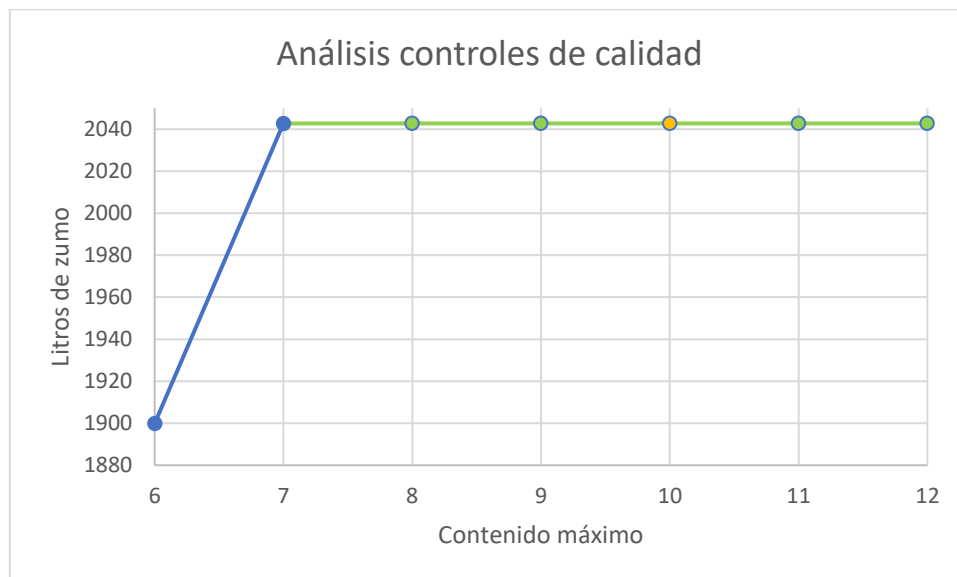


Figura 51: Gráfica litros de zumo-contenido máximo en controles de calidad

### 5.1.3.3.2 Duración del proceso

La gráfica de la figura 52 nos muestra que la producción máxima se logra en la situación irreal de un proceso que se realiza de forma instantánea. Obviando dicho punto, podemos observar que lograremos una producción elevada en los casos en los que destinemos un tiempo menor de tres segundos al control de calidad. Todo el tiempo añadido a partir de tres segundos implicará una reducción en la producción.

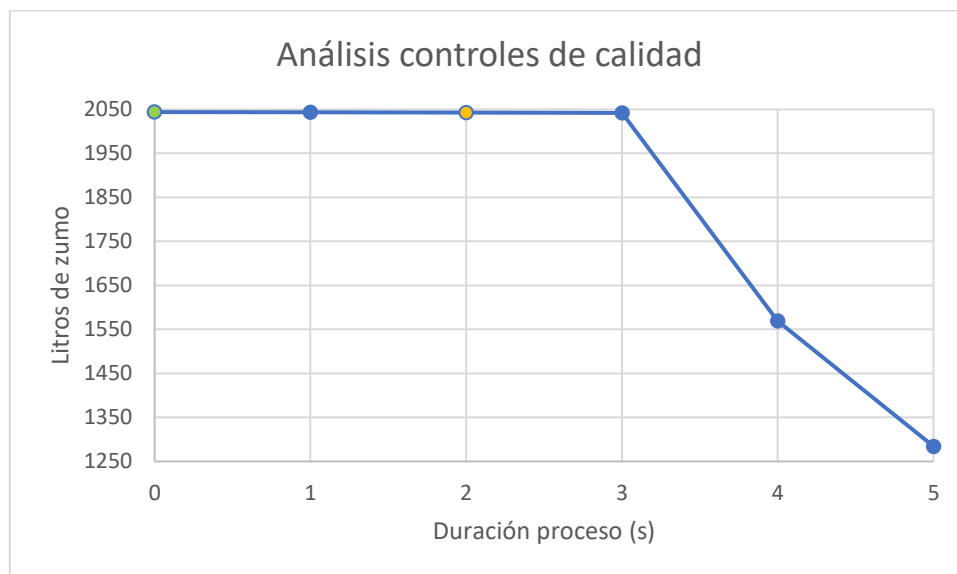


Figura 52: Gráfica litros de zumo-duración proceso en controles de calidad

### 5.1.3.3.3 Porcentaje de naranjas buenas

Tal y como vemos en la gráfica de la figura 53 la producción máxima queda acotada al tomar entre el 86% y el 91% de las naranjas como buenas. Un porcentaje inferior dejaría desabastecidos los procesos posteriores, provocando un descenso brusco en la producción. Por el contrario, sobrepasar este tramo provocaría una saturación, aunque mínima, llevando a un leve descenso en la producción total. De esta forma, trabajando en el tramo anteriormente mencionado deberemos escoger un porcentaje valorando factores que no podemos simular, como sería el sabor final del zumo.

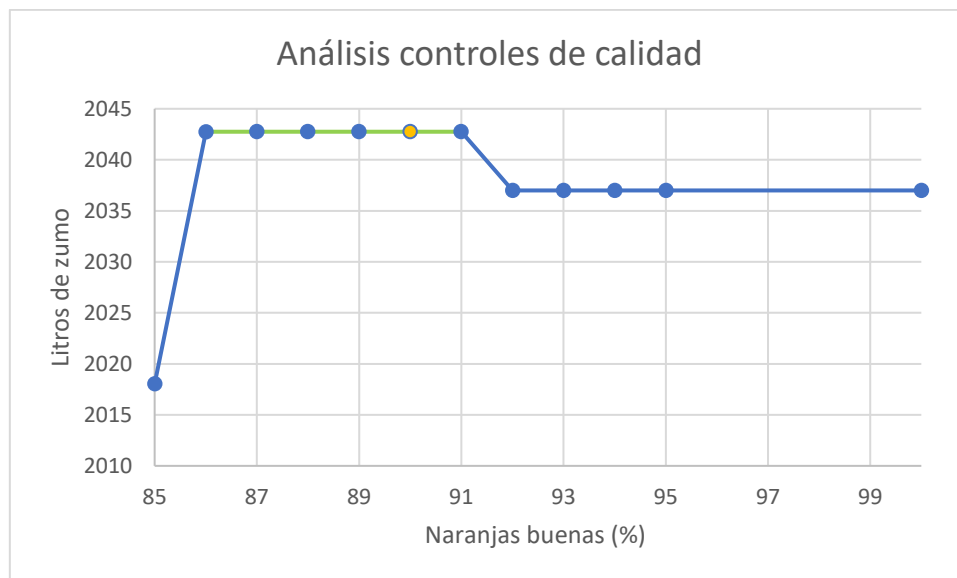


Figura 53: Gráfica litros de zumo-naranjas buenas en controles de calidad

**5.1.3.4 Análisis exprimidores****5.1.3.4.1 Capacidad máxima**

Podemos apreciar en la gráfica de la figura 54 la irrelevancia de la capacidad máxima de los exprimidores. La producción de zumo se mantiene constante. Esto se debe a que el caudal de salida máximo establecido excede el volumen de entrada, lo que provoca que nunca se llegue a acumular zumo.

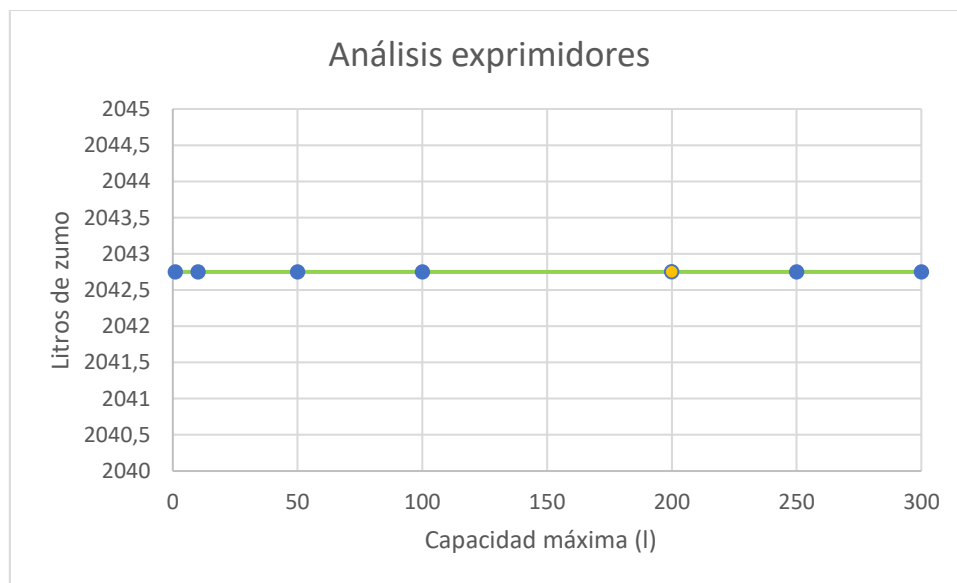


Figura 54: Gráfica litros de zumo-capacidad máxima en exprimidores



#### 5.1.3.4.2 Salida máxima

Observando la gráfica de la figura 55, nos damos cuenta de que a partir de los 0,6 l/s se produce una saturación en los procesos posteriores, manteniéndose a partir de dicho punto la producción constante. Sin embargo, es con un caudal de 0,45 l/s cuando logramos maximizar la producción. Cualquier valor inferior causará un desabastecimiento de material y se incurrirá, por tanto, en un descenso del zumo obtenido.

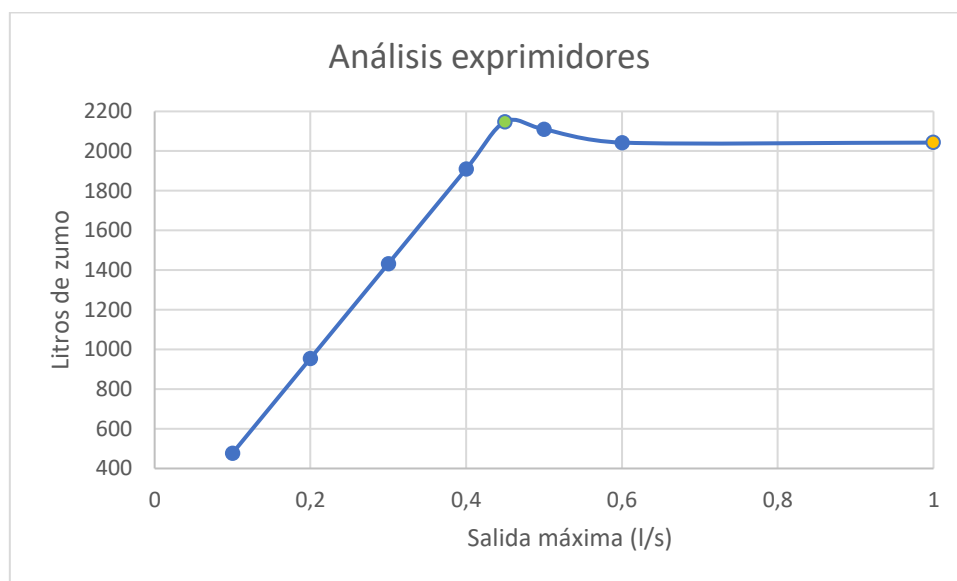


Figura 55: Gráfica litros de zumo-salida máxima en exprimidores

### 5.1.3.5 Análisis colador

#### 5.1.3.5.1 Capacidad máxima

En la gráfica de la figura 56 queda reflejada la explicación que se había realizado previamente de los modelos de FluidProcessor. Recordemos que un aumento de la capacidad implicaba un aumento en la duración del proceso. Podemos ver de esta forma que, estableciendo la capacidad en 6 litros, lograremos maximizar la producción. Unas dimensiones inferiores supondrían un descenso brusco de la producción, mientras que el sobredimensionamiento provocaría un descenso paulatino más leve.

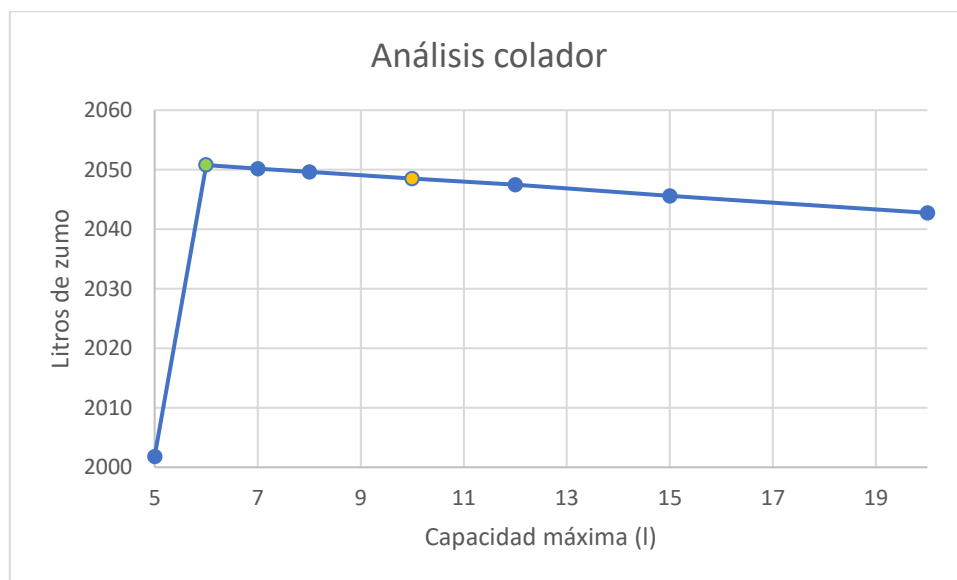


Figura 56: Gráfica litros de zumo-capacidad máxima en coladores

### 5.1.3.5.2 Entrada y salida máximas

Tal y como podemos ver en la gráfica de la figura 57, se requieren valores superiores al litro por segundo para evitar un descenso brusco en la producción. Aumentado dicho valor, la producción se irá incrementando ligeramente hasta lograr el máximo a partir de 9l/s.

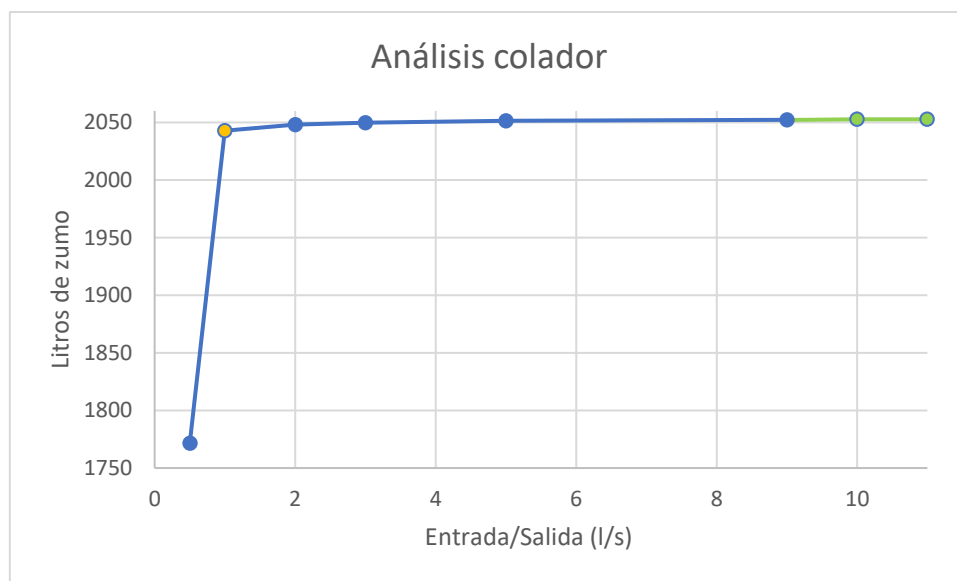


Figura 57: Gráfica litros de zumo-entrada/salida máxima en colador

### 5.1.3.6 *Análisis conducto de distribución*

#### 5.1.3.6.1 Contenido máximo

Podemos apreciar en la gráfica de la figura 58 que el aumento de la capacidad del conducto de distribución desencadena un incremento de la producción. Esto sucede hasta llegar a los cinco litros, punto a partir del cual la producción es máxima y se mantiene constante.

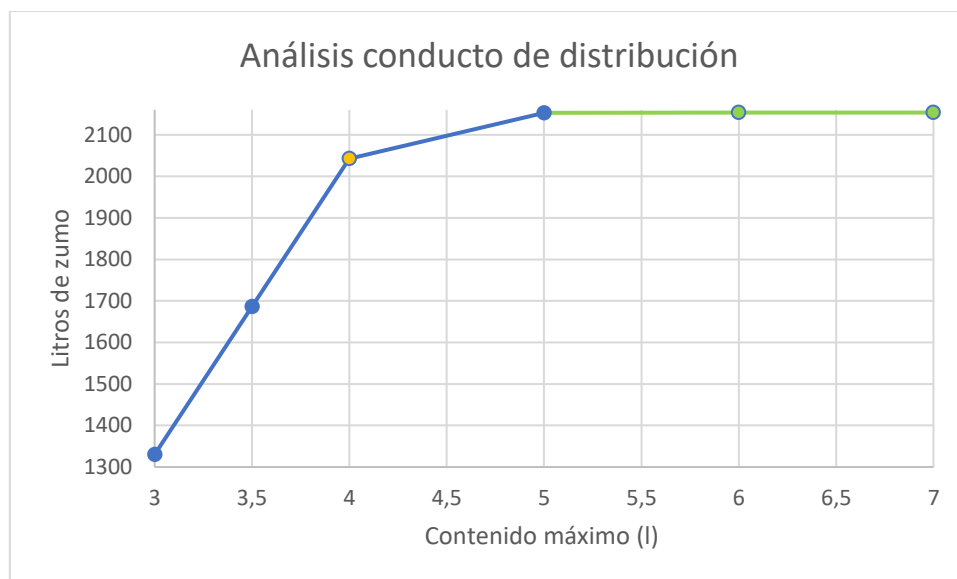


Figura 58: Gráfica litros de zumo-contenido máximo en conducto distribución

**5.1.3.7 Análisis depósito****5.1.3.7.1 Entrada máxima**

Observando la gráfica de la figura 59, nos damos cuenta de la necesidad de emplear una entrada que permita al menos 0,6 litros por segundo. En caso contrario, la producción se vería reducida enormemente. Empleando valores superiores, obtendremos una producción final similar, alcanzándose el máximo al sobrepasar los 0,9 litros por segundo.

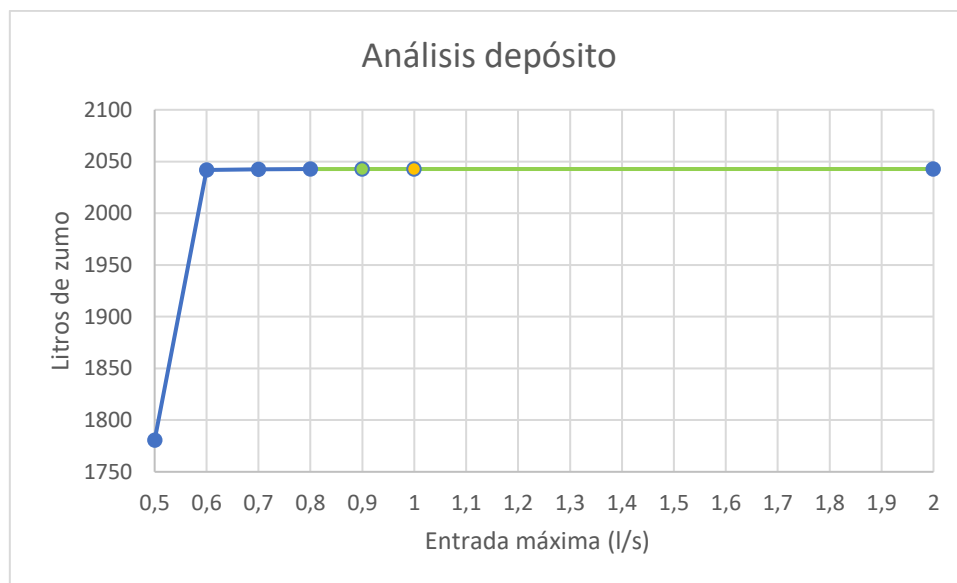


Figura 59: Gráfica litros de zumo-entrada máxima en depósito

## 5.2 Reciclado de cajas y botellas

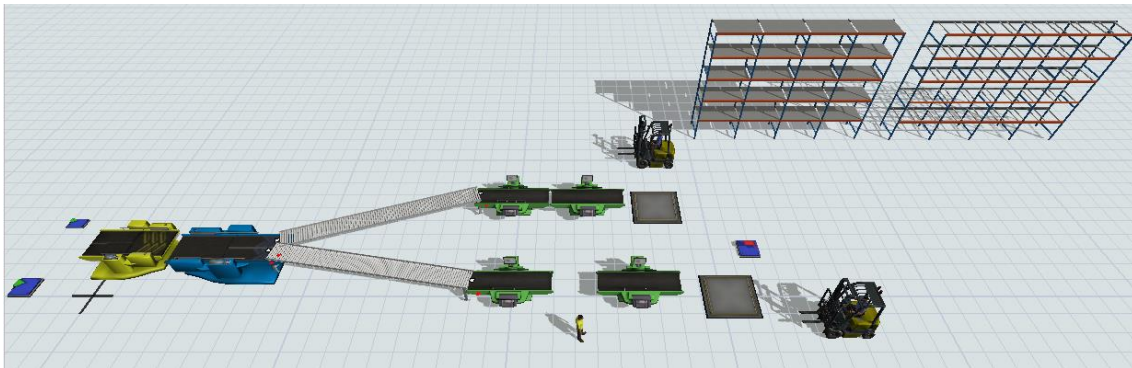


Figura 60: Proceso reciclado de cajas y botellas

### 5.2.1 Descripción del proceso

En este proceso partiremos de las cajas llenas con veinticuatro botellas que nuestros clientes devuelven para que sean recicladas. De esta forma, el modelo comenzará combinando las cajas y botellas para emular la llegada de cajas inicialmente llenas. Dicha combinación se realizará de forma instantánea, de modo que no tenga impacto sobre los procesos posteriores. Una vez descargado el material este pasará por un proceso de separado, haciendo ir a las botellas por la cinta superior y a las cajas por la cinta inferior. Tendremos de esta forma dos procesos trabajando en paralelo, uno relativo a las botellas y otro a las cajas. En el tramo superior de la simulación se procederá en primer lugar al limpiado de las botellas y posteriormente a un control de calidad. Aquellas botellas consideradas buenas serán trasladadas por una pala transportadora al almacén, mientras que las malas serán desechadas. De forma similar, en el tramo inferior de la simulación, las cajas serán sometidas a procesos de limpieza y control de calidad, supervisados ambos por un operario. Desecharemos las cajas malas y trasladaremos las buenas con una segunda pala transportadora a un segundo almacén.

**5.2.2 Elementos que intervienen el proceso y sus parámetros iniciales**

- I. Dispensadores de cajas y botellas
  - 2 cajas cada minuto.
- II. Separador de cajas y botellas
  - 12 segundos de duración de proceso.
- III. Dos cintas transportadoras
  - 10 metros de longitud.
  - Velocidad de 1m/s.
- IV. Limpiador de botellas
  - 2 botellas de contenido máximo.
  - 2 segundos de duración de proceso.
- V. Control de calidad de botellas
  - 2 botellas de contenido máximo.
  - 1 segundo de duración de proceso.
- VI. Pala transportadora de botellas
  - 24 botellas por viaje.
  - Velocidad de 1m/s.
  - 0,2 segundos de tiempo de carga y descarga por botella.
- VII. Limpiador de cajas
  - 1 segundo de preparación para inicio del proceso.
  - 10 segundos de duración de proceso.
- VIII. Control de calidad de cajas
  - 5 segundos de duración de proceso.
- IX. Pala transportadora de cajas
  - 2 cajas por viaje.
  - Velocidad de 1m/s.
  - 2 segundos de tiempo de carga y descarga por caja.

### 5.2.3 Estudio de cuellos de botella

Se realizará el estudio simulando el reciclado de cajas y botellas durante una hora. Se tendrá en cuenta el número de cajas y botellas que se encuentran en el almacén tras dicho tiempo. Con las condiciones iniciales anteriormente mencionadas se reciclan 2256 botellas y 106 cajas. Para facilitar el seguimiento, las figuras presentarán una marca de color. El valor inicial quedará reflejado en color naranja, mientras que el tramo que optimiza la producción se ofrecerá en color verde.

#### 5.2.3.1 *Análisis descarga de cajas con botellas*

##### 5.2.3.1.1 Suministro de cajas con botellas

El primer proceso afecta a cajas y botellas. Tal y como podemos ver en las gráficas de las figuras 61 y 62 la tendencia con la variación del suministro es idéntica tanto para cajas como para botellas. Ambas presentan una tendencia ascendente, al aumentar el suministro, hasta llegar a las tres cajas cada minuto, punto en el que conseguimos el reciclado óptimo de cajas y botellas. Un suministro mayor desencadenaría una saturación de los procesos posteriores, por lo que nos encontramos ante un cuello de botella.

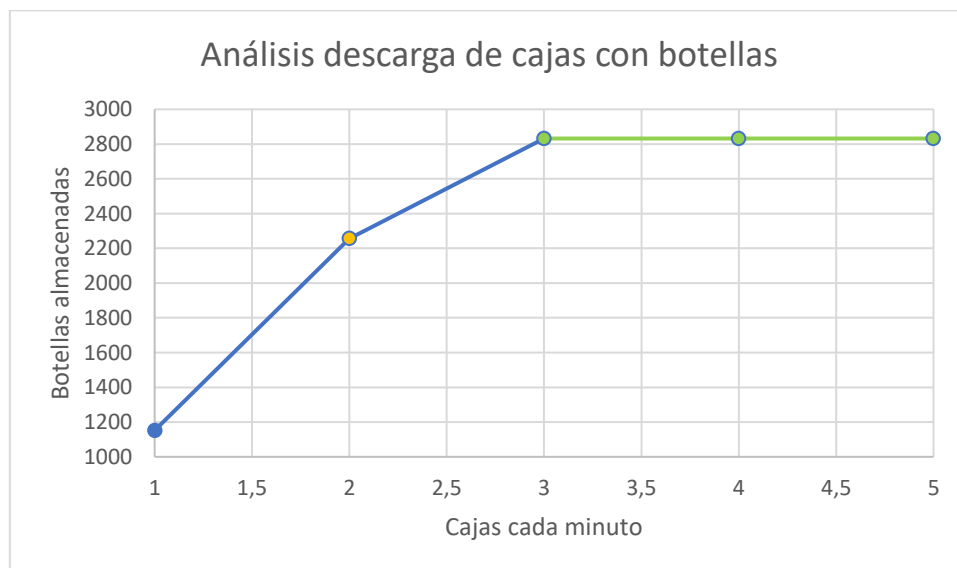


Figura 61: Gráfica botellas almacenadas-cajas por minuto en descarga



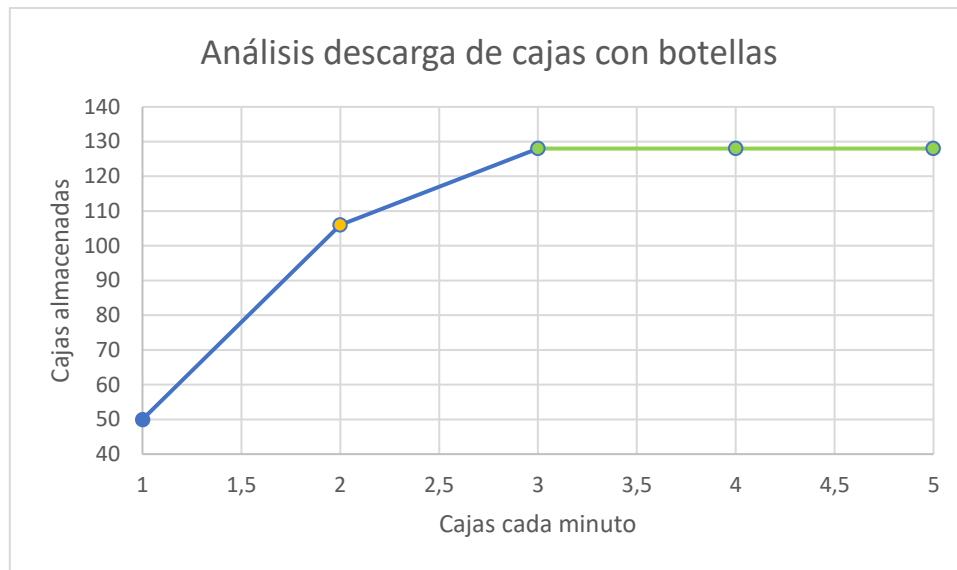


Figura 62: Gráfica cajas almacenadas-cajas por minuto en descarga

### 5.2.3.2 *Análisis separador de cajas y botellas*

#### 5.2.3.2.1 Duración del proceso

Al igual que en el caso anterior, el proceso de separado afecta a la cantidad de cajas y botellas recicladas. Sin embargo, en este caso nos encontraremos distintos cuellos de botella. Como se puede observar en la gráfica de la figura 63 la cantidad de botellas recicladas se mantendrá máxima y constante hasta los 26 segundos de duración del proceso. Por otro lado, fijándonos en la gráfica de la figura 64, esto sólo sucederá hasta los 19 segundos de duración de proceso. Teniendo en cuenta que el cuello de botella sucede antes para el caso de las cajas, deberemos tomar este como punto de referencia y nunca exceder dicho valor, maximizando así el proceso de reciclado.

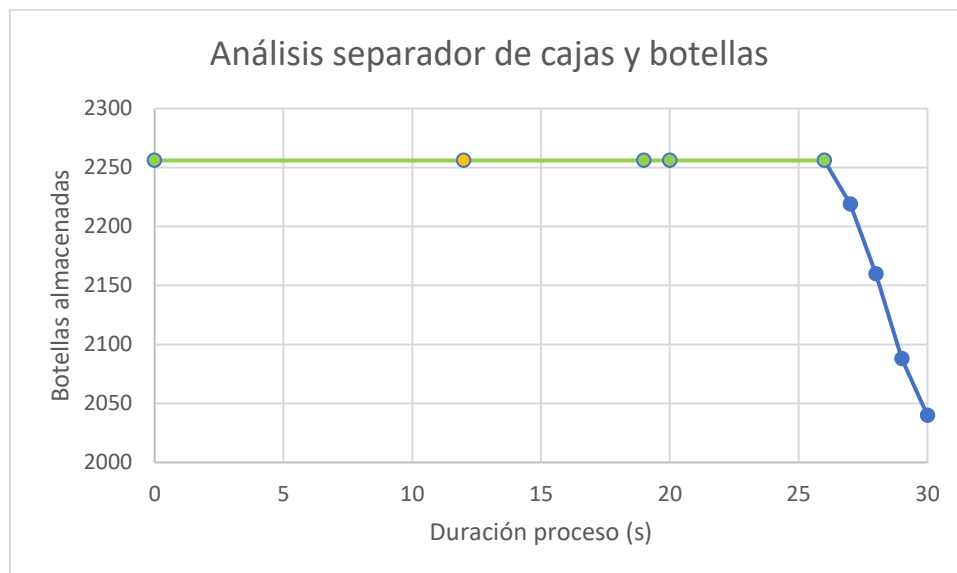


Figura 63: Gráfica botellas almacenadas-duración proceso en separado

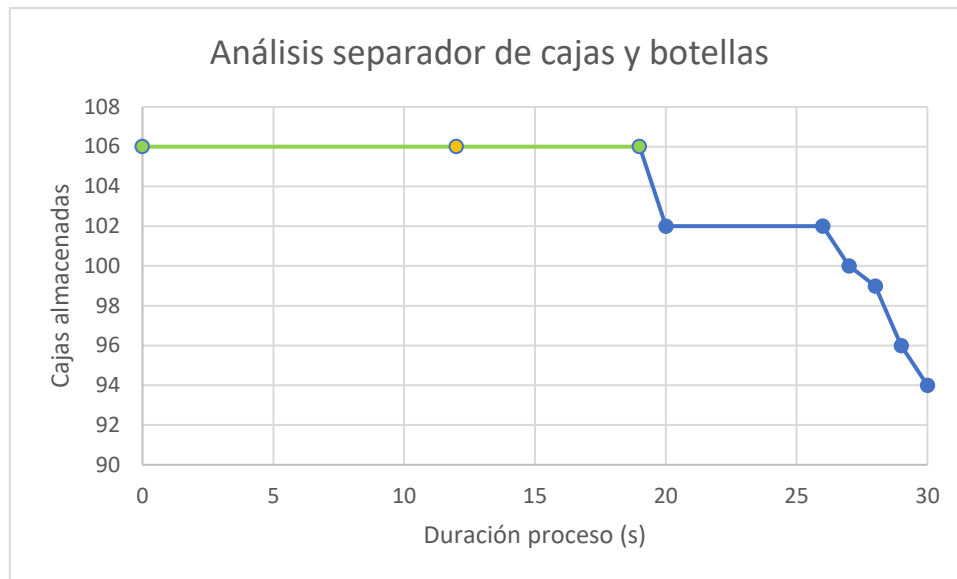


Figura 64: Gráfica cajas almacenadas-duración proceso en separado

### 5.2.3.3 *Análisis de la cinta transportadora de botellas*

#### 5.2.3.3.1 Velocidad de la cinta transportadora

La gráfica de la figura 65 nos muestra los efectos de emplear velocidades muy bajas en la cinta transportadora de botellas. La cantidad de botellas recicladas aumentará al emplear velocidades superiores a los 0,2 m/s, lográndose el máximo a los 0,38m/s. En caso de trabajar con velocidades superiores, nos toparemos con cuellos de botella en los procesos posteriores.

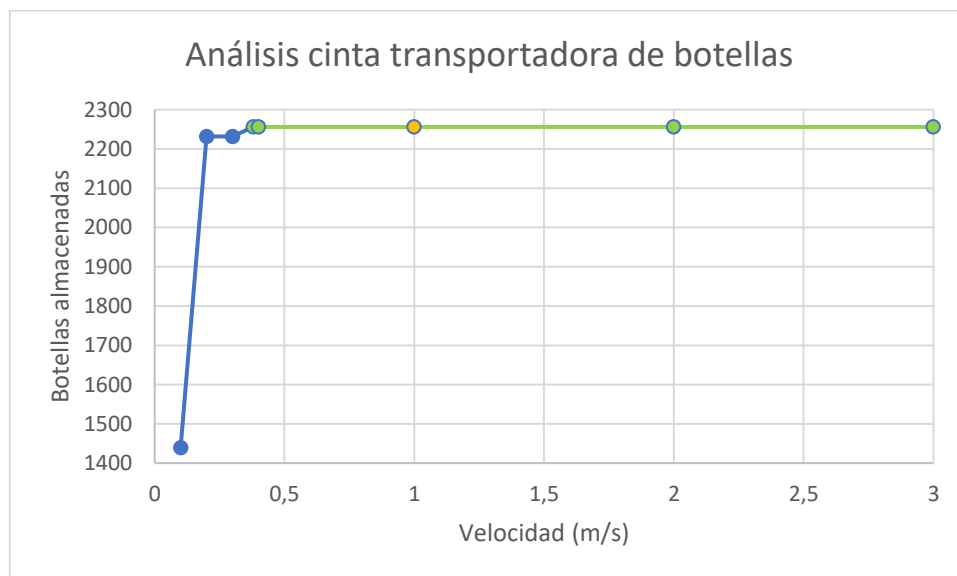


Figura 65: Gráfica botellas almacenadas-velocidad en cinta transportadora

### 5.2.3.3.2 Longitud de la cinta transportadora

Observando la gráfica de la figura 66, podemos apreciar distintos escalones en los cuales la cantidad final de botellas recicladas se mantendrá constante para diversas longitudes de la cinta transportadora. Será para valores entre los 0,8 y los 30 metros donde obtendremos los mejores resultados. La anchura de dichos escalones dependerá de la velocidad a la que se mueva la cinta. A mayor velocidad, mayor será el tramo en el que tengamos el mismo resultado para múltiples longitudes.

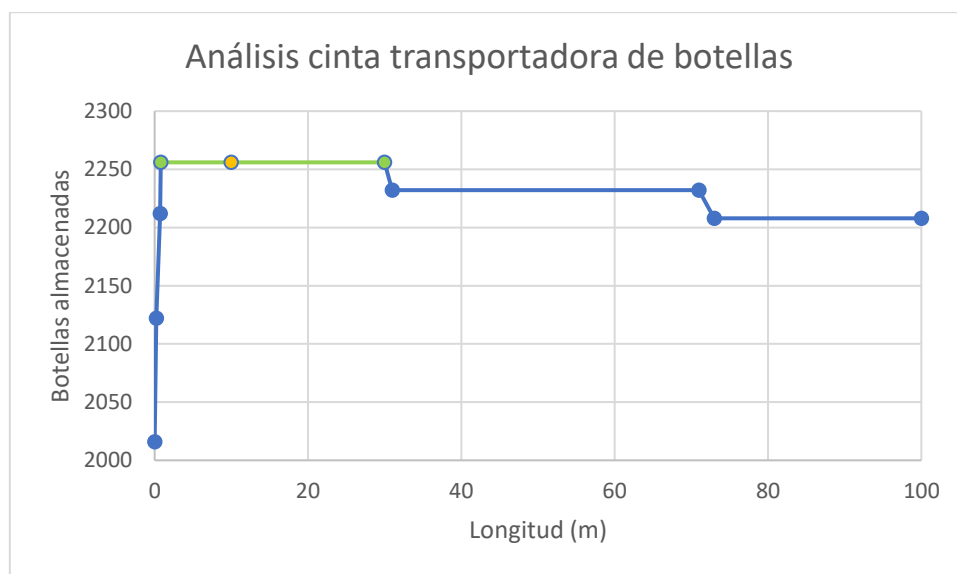


Figura 66: Gráfica botellas almacenadas-longitud en cinta transportadora

**5.2.3.4 Análisis de la cinta transportadora de cajas****5.2.3.4.1 Velocidad de la cinta transportadora**

Tal y como vemos en la gráfica de la figura 67, la cantidad de cajas almacenadas fluctúa mucho ante los cambios de velocidad de la cinta transportadora. Por ello, deberemos intentar trabajar uno de los dos tramos en los que conseguimos mejores resultados. Deberemos trabajar entre 0,2 y 0,3 m/s o entre 1,2 y 1,3 m/s.

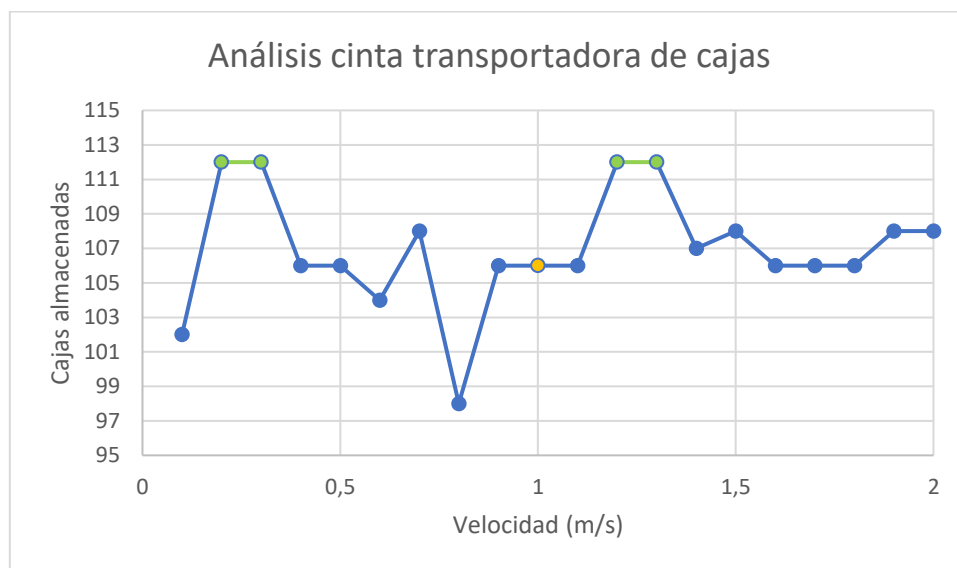


Figura 67: Gráfica cajas almacenadas-velocidad en cinta transportadora

#### 5.2.3.4.2 Longitud de la cinta transportadora

Al igual que en el caso anterior, podemos apreciar en la gráfica de la figura 68 la alta variación en los resultados sin existir tendencia alguna. Sabemos, sin embargo, gracias al estudio realizado, que deberemos emplear cintas con una longitud de dos u ocho metros.

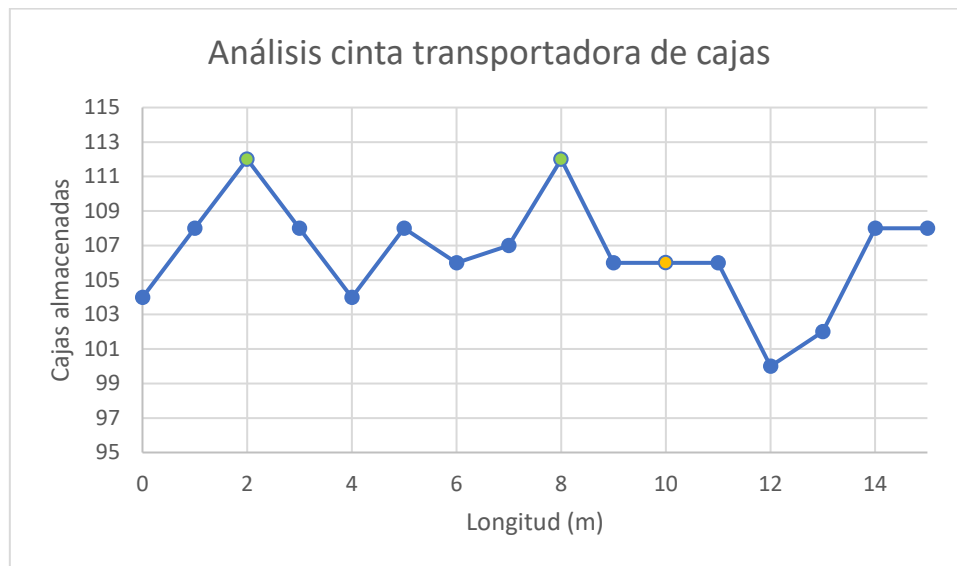


Figura 68: Gráfica cajas almacenadas-longitud en cinta transportadora

### 5.2.3.5 Análisis de la limpieza de botellas

#### 5.2.3.5.1 Contenido máximo

Vemos en la gráfica de la figura 69 la necesidad de trabajar con un número superior a una botella. La cantidad de botellas que se reciclarán aumentará en más de un 50%. Del mismo modo toda cantidad que exceda las dos botellas simultáneas no acarreará beneficio alguno.

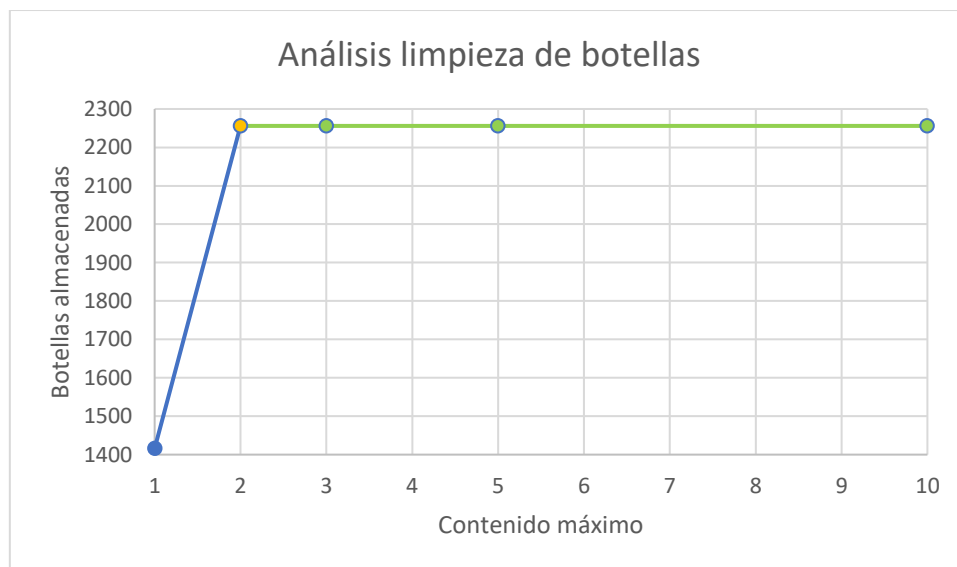


Figura 69: Gráfica botellas almacenadas-contenido máximo en limpieza



### 5.2.3.5.2 Duración del proceso

Tal y como nos muestra la gráfica de la figura 70, existe un cuello de botella que nos limita la cantidad de botellas recicladas tras el proceso de limpieza. Nos podemos dar cuenta de esto si nos fijamos en el tramo comprendido entre los 0 y los 2,5 segundos de duración de proceso. Las botellas recicladas se mantendrán constantes y no será hasta que se sobrepase dicho tramo cuando las botellas recicladas disminuyan y sea la limpieza el proceso causante del cuello de botella.

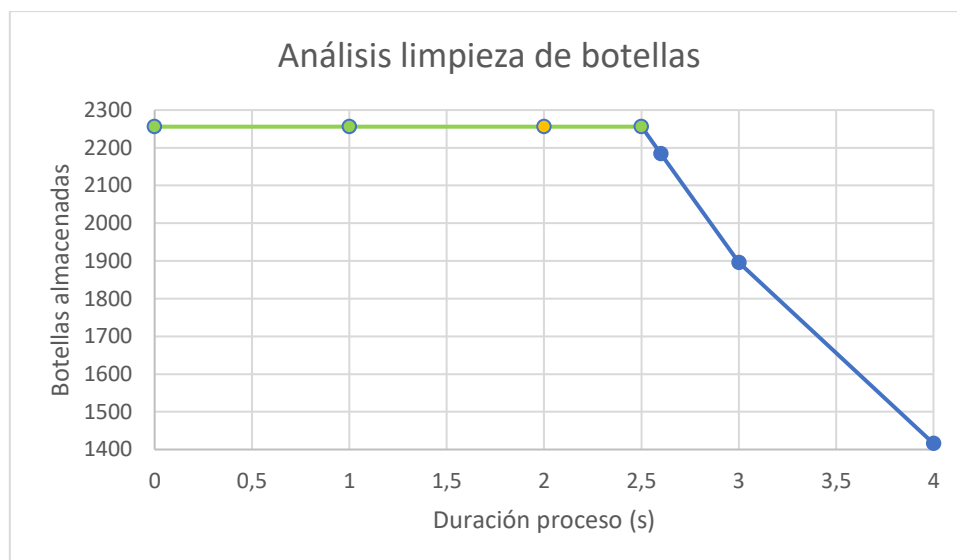


Figura 70: Gráfica botellas almacenadas-duración proceso en limpieza

### 5.2.3.6 Análisis de la limpieza de cajas

#### 5.2.3.6.1 Tiempo de preparación

Podemos ver en la gráfica de la figura 71 la alternancia entre tendencias de aumento y disminución en el número de cajas recicladas. Sin embargo, una vez sobrepasado el valor de once segundos en el tiempo de preparación, se producirá un descenso progresivo. Habrá dos tramos en los que conseguiremos maximizar la cantidad de cajas recicladas. Esto sucederá para tiempos entre cuatro y siete segundos y tiempos entre diez y once segundos.

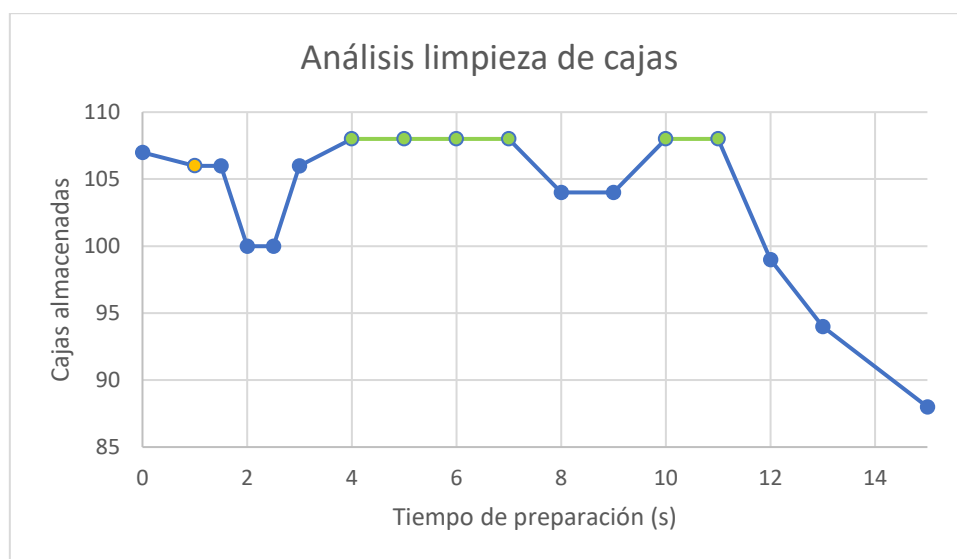


Figura 71: Gráfica cajas almacenadas-tiempo de preparación en limpieza

### 5.2.3.6.2 Duración del proceso

La gráfica de la figura 72 nos muestra la necesidad de emplear una duración del proceso de limpieza de cajas de seis segundos. Al ser, tanto el tiempo de preparación como el tiempo de duración de proceso, tiempos pertenecientes al proceso de limpieza podemos observar que, al emplear valores por encima de las condiciones iniciales, el resultado será el mismo para ambas gráficas.

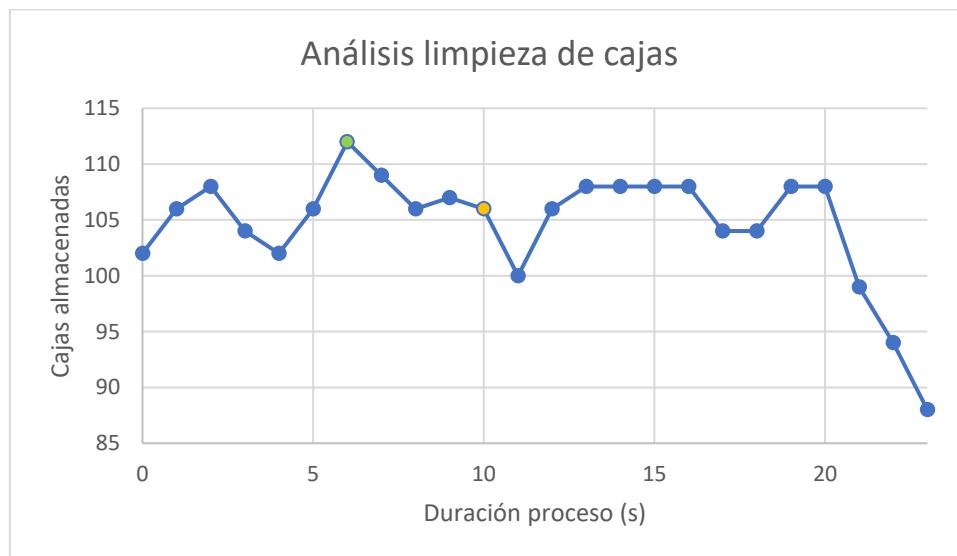


Figura 72: Gráfica cajas almacenadas-duración proceso en limpieza

**5.2.3.7 Análisis del control de calidad de botellas****5.2.3.7.1 Contenido máximo**

La gráfica de la figura 73 refleja la irrelevancia del contenido máximo en el proceso de control de calidad. Las botellas recicladas totales serán independientes de este parámetro.

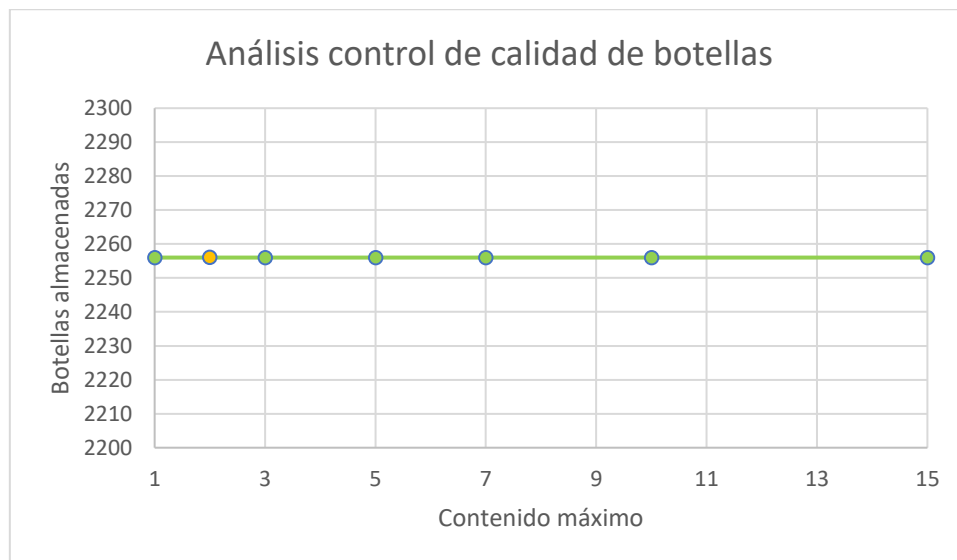


Figura 73: Gráfica botellas almacenadas-contenido máximo en control de calidad

### 5.2.3.7.2 Duración del proceso

A diferencia del caso anterior, vemos en la gráfica de la figura 74 cómo existe un cuello de botella situado en los dos segundos y medio de duración de proceso. Para valores inferiores, las botellas recicladas no aumentarán debido a saturaciones en el proceso de transporte posterior. Tiempos superiores acarrearían un descenso en el número de botellas recicladas, siendo entonces el control de calidad el proceso limitante.

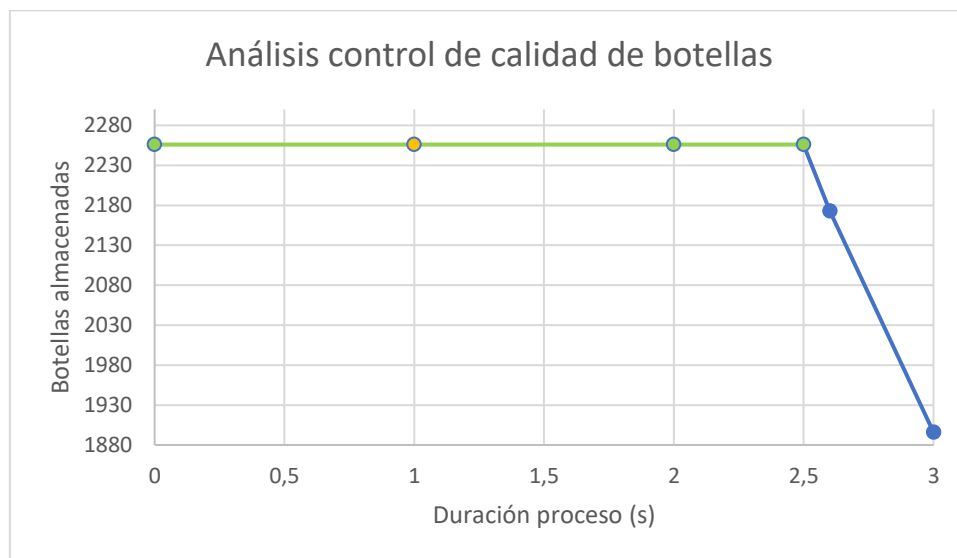


Figura 74: Gráfica botellas almacenadas-duración proceso en control de calidad

### 5.2.3.7.3 Porcentaje de botellas buenas

Observando la gráfica de la figura 75, vemos una tendencia ascendente ininterrumpida. Esto nos indica la capacidad del proceso posterior de transporte a trasladar toda botella entrante.

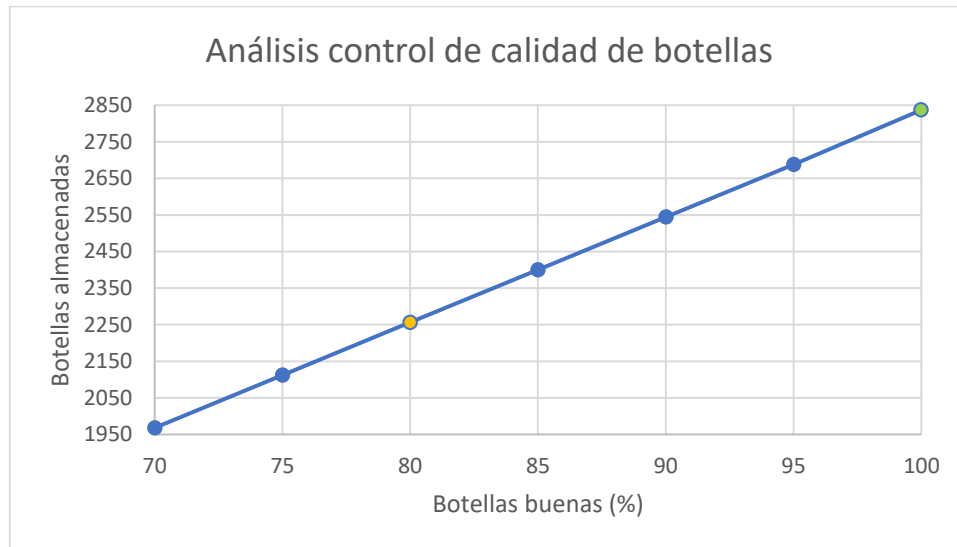


Figura 75: Gráfica botellas almacenadas-botellas buenas en control de calidad

### 5.2.3.8 Análisis del control de calidad de cajas

#### 5.2.3.8.1 Duración del proceso

Tal y como nos muestra la gráfica de la figura 76, la duración óptima del control de calidad deberá ser de entre 0,9 y 1,3 segundos. En caso de querer trabajar con otros tiempos deberemos evitar duraciones cercanas a 6 segundos, en las que hay un brusco descenso, y duraciones superiores a 15 segundos, momento a partir del cual la cantidad de cajas recicladas se reduce de forma progresiva.

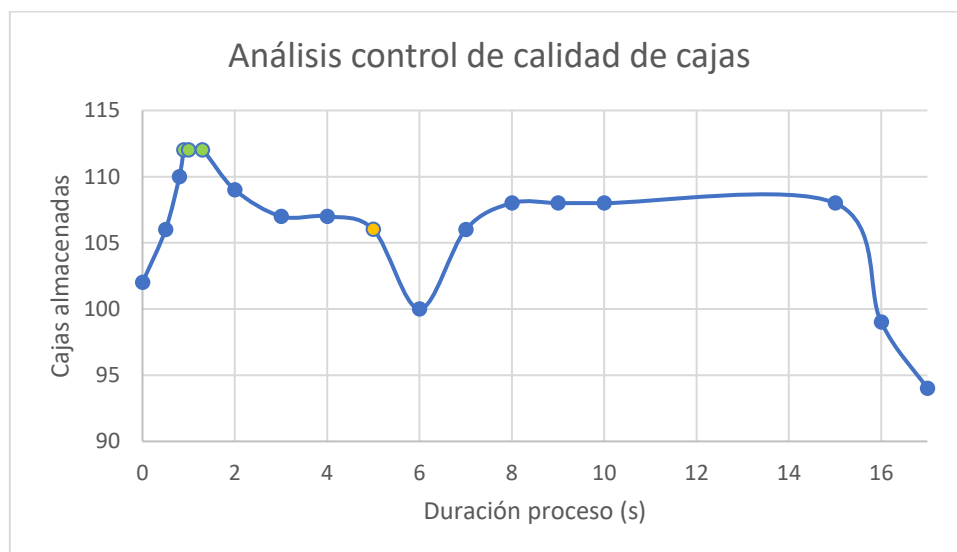


Figura 76: Gráfica cajas almacenadas-duración del proceso en control de calidad

### 5.2.3.8.2 Porcentaje de cajas buenas

Al igual que pasaba en el caso de las botellas, la tendencia que muestra la gráfica de la figura 77 indica que el proceso posterior de transporte de cajas es capaz de admitir toda caja entrante.

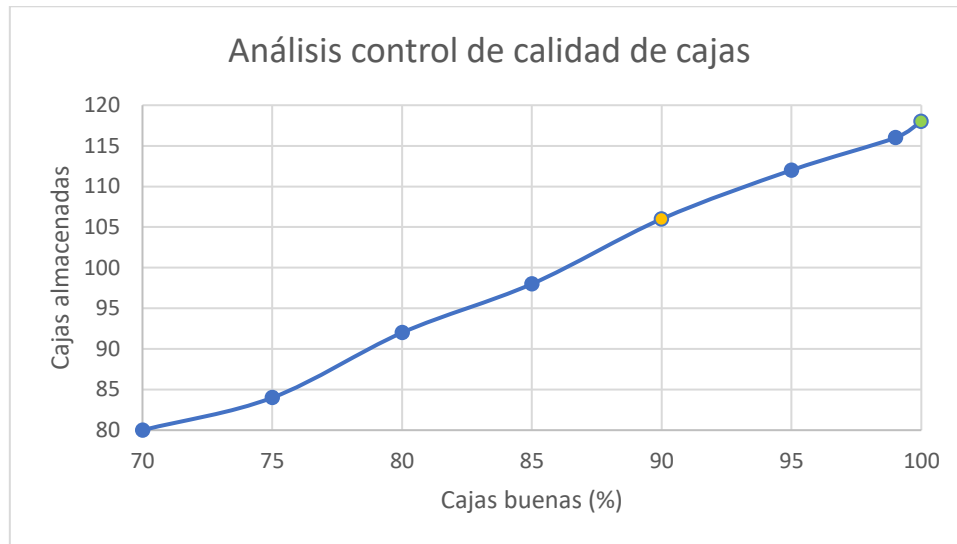


Figura 77: Gráfica cajas almacenadas-cajas buenas en control de calidad



### 5.2.3.9 *Análisis del traslado de botellas*

#### 5.2.3.9.1 Botellas por viaje

La gráfica de la figura 78 nos hace ver que el número de botellas por viaje debería ser de tan solo una. Esto se debe a que la pala transportadora de otra forma, al ser corto el recorrido hasta el almacén, tendría tiempos muertos y estaría a ratos sin trabajar. Si estuviéramos dispuestos a disminuir el número de botellas recicladas, a cambio de quitar carga de trabajo a la pala, el número de botellas a transportar por viaje debería ser de siete o de veintidós, como vemos en ambos picos de la gráfica.

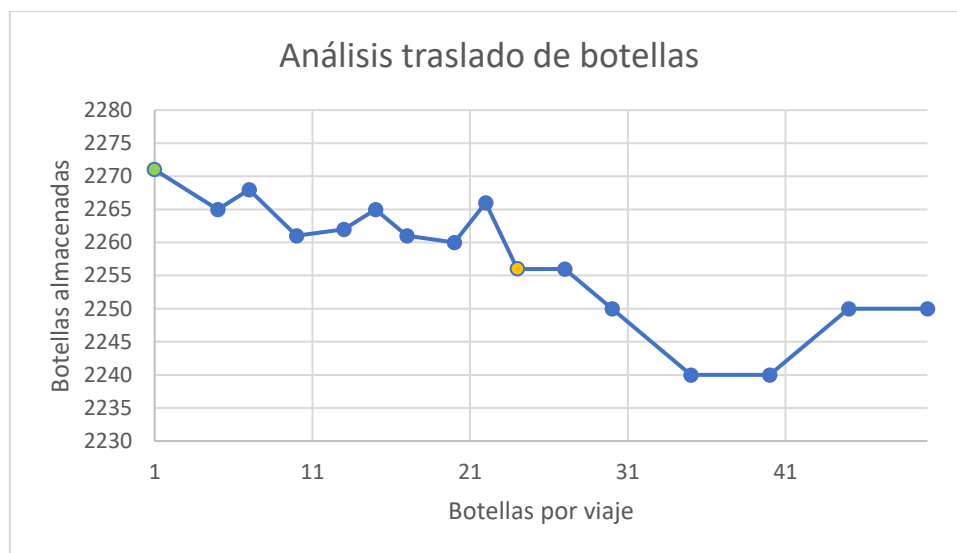


Figura 78: Gráfica botellas almacenadas-botellas por viaje en traslado

### 5.2.3.9.2 Velocidad transporte

Como queda expuesto en el apartado anterior, la corta distancia que tiene que recorrer la pala transportadora provoca que, salvo situaciones en las que la velocidad sea muy baja, el resultado final será prácticamente el mismo. De esta forma, como vemos en la gráfica de la figura 79, para velocidades superiores a 0,4 m/s se maximizará el resultado.

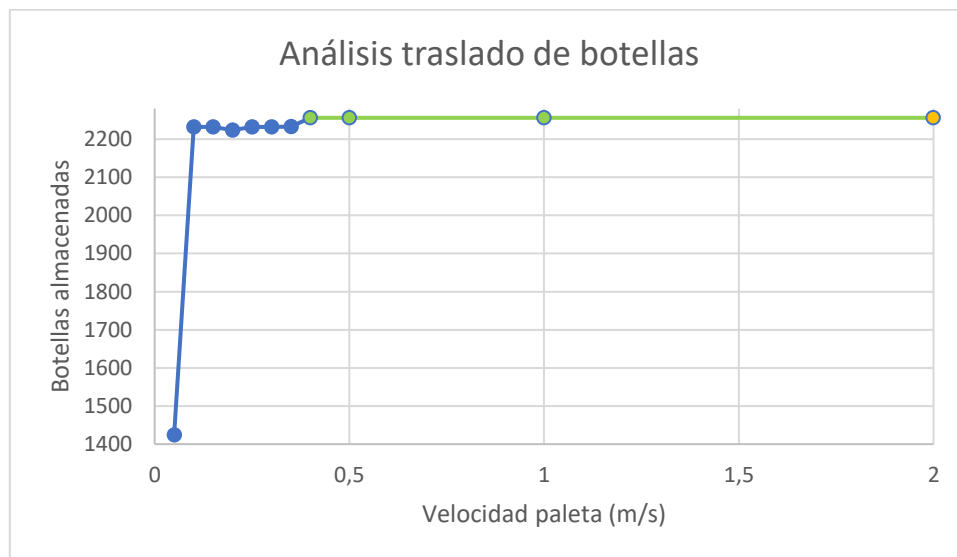


Figura 79: Gráfica botellas almacenadas-velocidad paleta en traslado

### 5.2.3.9.3 Tiempo de carga y de descarga

Vemos nuevamente en la gráfica de la figura 80 que la pala transportadora de botellas pasa tiempo sin trabajar. Nos podemos dar cuenta de que, ante un hipotético trabajo instantáneo, el resultado final es el mismo. El tiempo de carga y descarga no será relevante, salvo que excedamos el segundo y medio, momento en que empieza a disminuir la cantidad de botellas que llegan al almacén progresivamente. Para tiempos en torno a un segundo, vemos un ligero descenso, irrelevante, ya que coincide la finalización de la hora con la descarga del último lote.

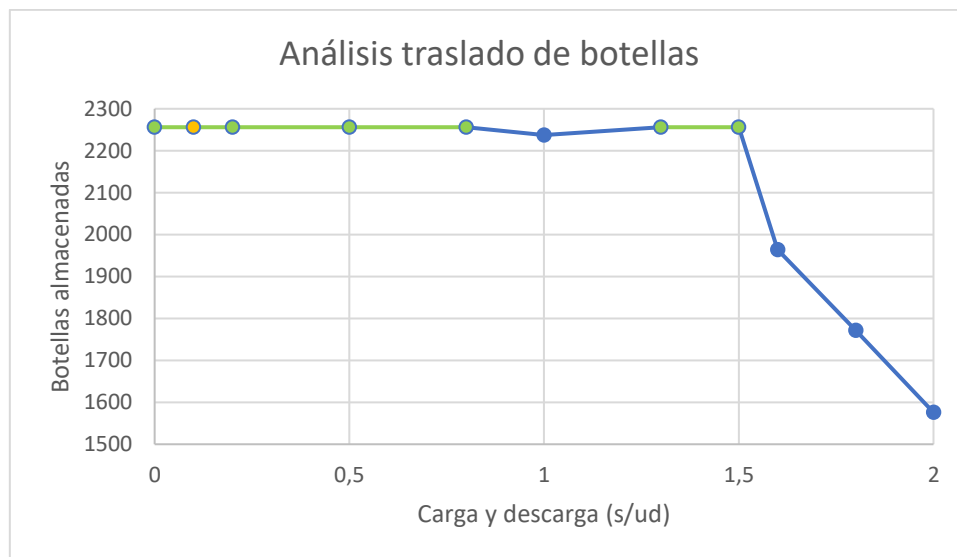


Figura 80: Gráfica botellas almacenadas-tiempo carga y descarga en traslado

**5.2.3.10 Análisis del traslado de cajas****5.2.3.10.1 Cajas por viaje**

De manera análoga al caso del traslado de las botellas la gráfica de la figura 81 refleja que la paleta pasa nuevamente tiempo sin trabajar. De esta forma el máximo se encontraría en una caja por viaje, minimizando así tiempos muertos. Al igual que exponíamos antes, si quisiéramos un balance entre el resultado final y la cantidad de viajes que tendría que hacer la paleta, deberíamos buscar los picos en la gráfica. Estos se encuentran en cinco, siete y quince cajas por viaje. A partir de esta última cantidad la cantidad de cajas que llegan al almacén se reducirá de forma progresiva.

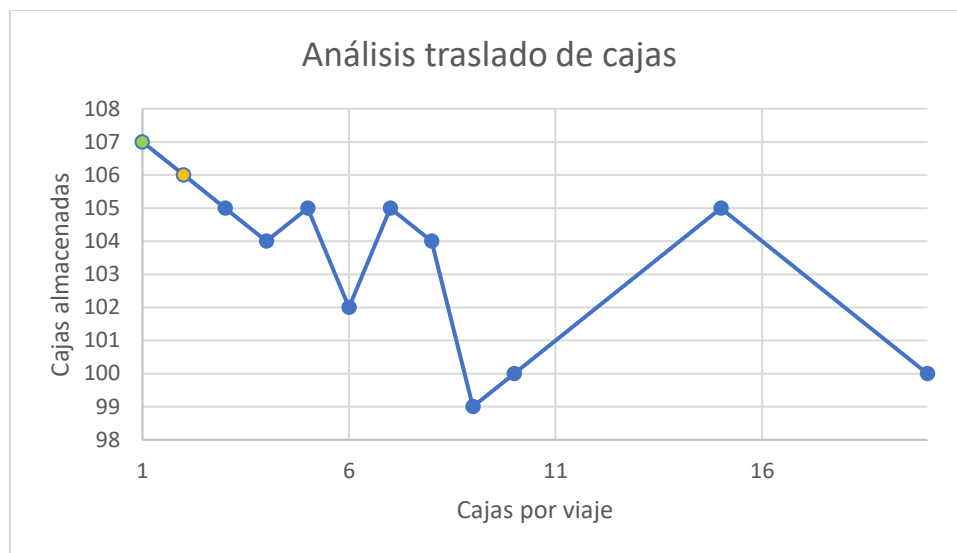


Figura 81: Gráfica cajas almacenadas-cajas por viaje en traslado

### 5.2.3.10.2 Velocidad del transporte

Podemos ver en la gráfica de la figura 82 una forma similar al caso del transporte de las botellas. Del mismo modo, tras superar unos valores de velocidad bajos, la cantidad de cajas que llegan al almacén se estabilizará, dándose este caso a partir de velocidades de 0,6m/s.

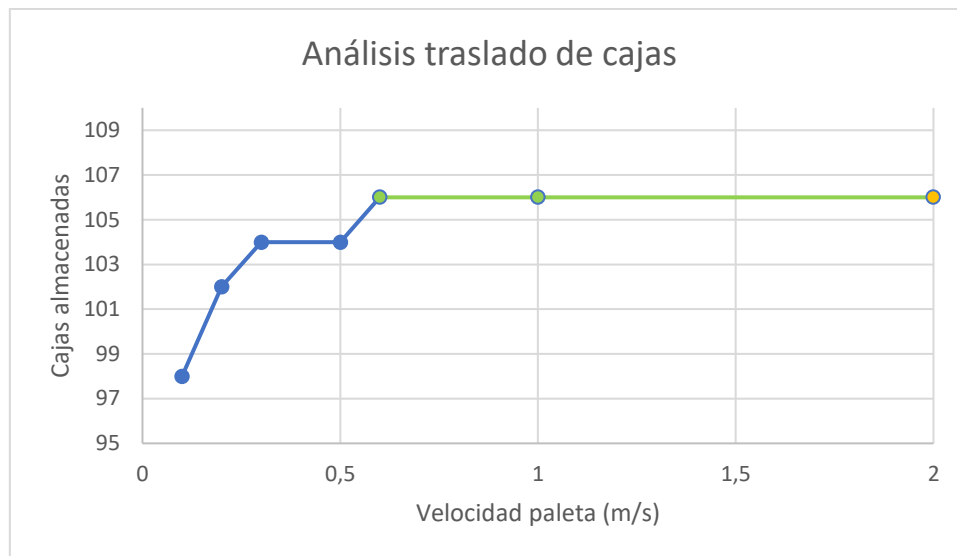


Figura 82: Gráfica cajas almacenadas-velocidad paleta en traslado

### 5.2.3.10.3 Tiempo de carga y descarga

De manera similar al caso del tiempo de carga y descarga de las botellas, la gráfica de la figura 83 nos muestra que obtendremos el mismo resultado tardando hasta 19 segundos. A diferencia del primer caso, para las cajas entre los 19 y los 28 segundos, habría un leve descenso y sería a partir de este último punto el momento el que los resultados se irían viendo disminuidos de forma progresiva.

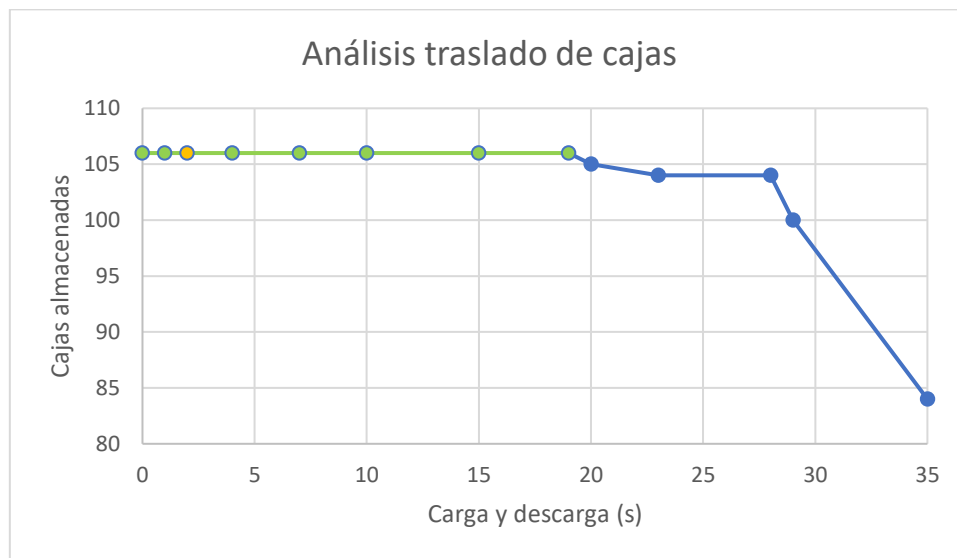


Figura 83: Gráfica cajas almacenadas-tiempo carga y descarga en traslado

### 5.3 Producto final embotellado

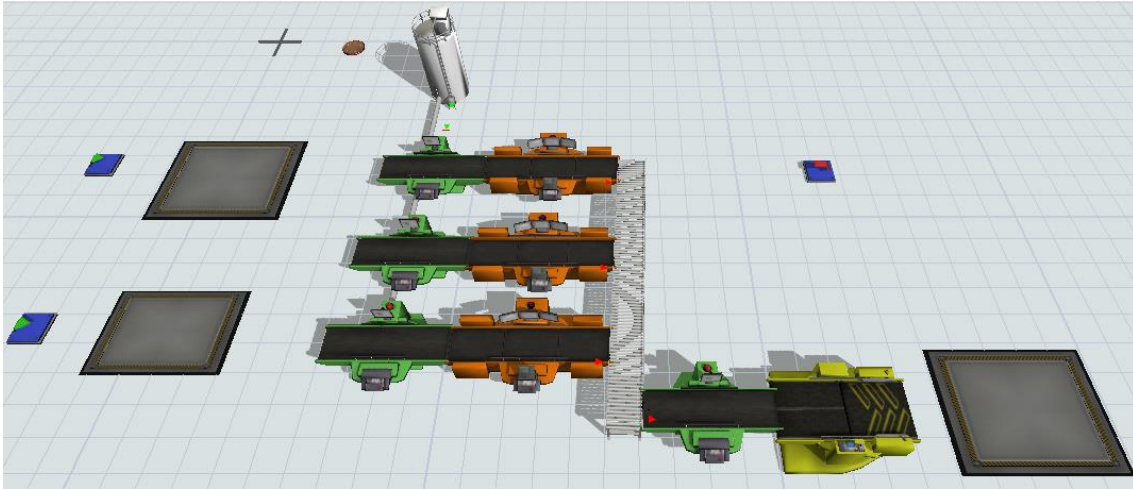


Figura 84: Proceso producto final embotellado

#### 5.3.1 Descripción del proceso

En el tercer y último proceso partiremos de los resultados obtenidos en los dos anteriores para obtener nuestro producto final, zumo de naranja embotellado y empaquetado. El tercer proceso comienza con las botellas, previamente recicladas en el segundo proceso. Estas abastecerán tres puestos de embotellado trabajando en paralelo, a los que también llegará el zumo del depósito del primer proceso. Las botellas, ya llenas de zumo, avanzarán hasta tres nuevos modelos, también trabajando en paralelo. En ellos ocurrirán sucesivamente el etiquetado y el taponado. Las botellas, llenas, etiquetadas y taponadas, avanzarán a continuación por una única cinta transportadora hasta el control de calidad. Tras él, se procederá a empaquetar en las cajas recicladas del segundo proceso las botellas consideradas aptas. Una vez estén las cajas llenas de botellas, habremos obtenido nuestro producto final.

**5.3.2 Elementos que intervienen el proceso y sus parámetros iniciales**

- I. Depósito de zumo
  - 2042,75 litros provenientes del primer proceso.
- II. Dispensador de botellas
  - 2256 botellas provenientes del segundo proceso.
- III. Dispensador de cajas
  - 106 cajas provenientes del segundo proceso.
- IV. Tres estaciones de embotellado
  - 0,5 segundos de preparación para inicio del proceso.
  - 2 segundos de duración del proceso.
- V. Tres estaciones de etiquetado y taponado
  - 4 segundos de duración de ambos procesos
- VI. Cinta transportadora
  - 10 metros de longitud.
  - Velocidad de 1m/s.
- VII. Un control de calidad
  - 1 botella de contenido máximo.
  - 1 segundo de duración del proceso.
  - 99% de las botellas consideradas como buenas.
- VIII. Una empaquetadora
  - 0 segundos de duración del proceso



### 5.3.3 Estudio de cuellos de botella

Durante los procesos uno y dos se producen 2042 litros de zumo y se reciclan 2256 botellas respectivamente en una hora. Al tener las botellas un litro de capacidad, será el zumo nuestro factor limitante. Se realizará, por tanto, el estudio simulando el tiempo necesario para que 2042 botellas recorran el proceso. Para facilitar el seguimiento las figuras presentarán una marca de color. El valor inicial quedará reflejado en color naranja, mientras que el tramo que optimiza la producción se ofrecerá en color verde.

#### 5.3.3.1 Análisis del embotellado

##### 5.3.3.1.1 Duración del proceso

La gráfica de la figura 85 nos muestra la existencia de un cuello de botella a partir de los 4 segundos. Que se encuentre exactamente en dicho punto no es casualidad, sino que viene impuesto por la duración del proceso de etiquetado y embotellado que se encuentra posteriormente. Este hace que aun siendo embotelladas en un menor tiempo las botellas tengan que esperar para incorporarse al proceso posterior.

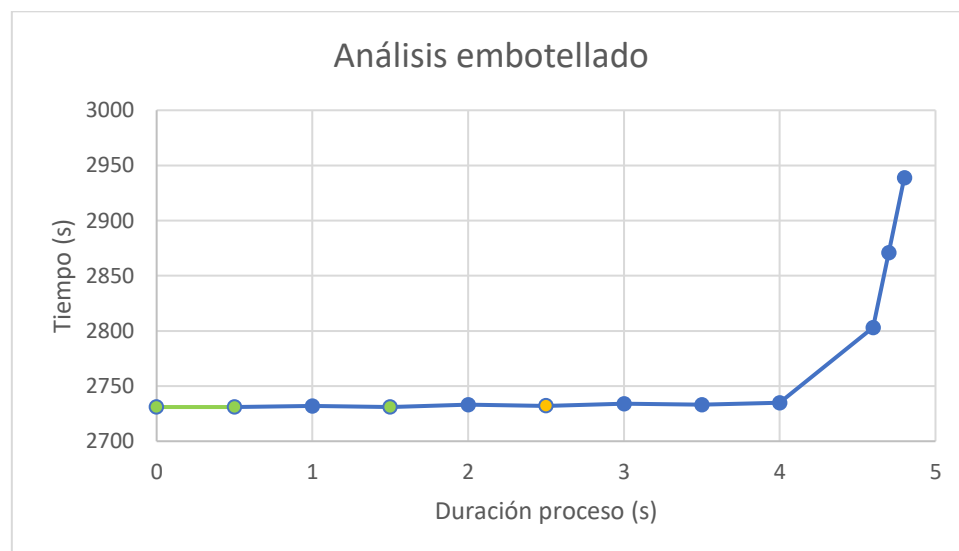


Figura 85: Tiempo-duración proceso en embotellado

### 5.3.3.2 *Análisis del etiquetado y taponado*

#### 5.3.3.2.1 Duración de los procesos

Tal y como se explicaba en el apartado anterior, la duración de los procesos de etiquetado y taponado nos marcará el tiempo óptimo que dedicar al embotellado. En la gráfica de la figura 86 vemos como el aumento en la duración de estos procesos repercute enormemente en el tiempo necesario para alcanzar nuestros objetivos. Por ello, deberemos intentar que la duración sea de tres o menos segundos, tramo en el que logramos llegar a nuestra meta en menor tiempo.

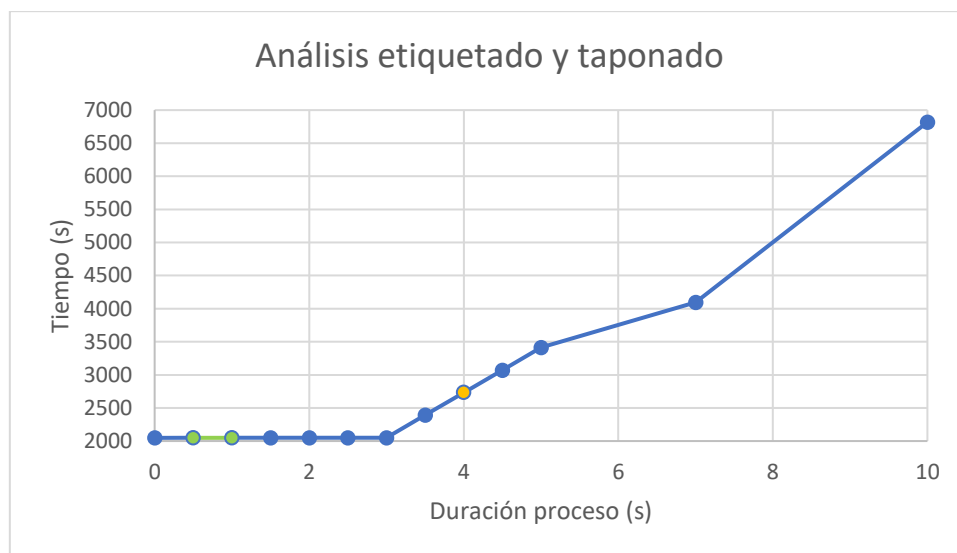


Figura 86: Tiempo-duración proceso en etiquetado y taponado

### 5.3.3.3 *Análisis de las cinta transportadoras*

#### 5.3.3.3.1 Velocidad cinta transportadora

Podemos apreciar en la gráfica de la figura 87 que una vez es superada la velocidad de 0,2m/s, las variaciones son de apenas del uno por ciento. Debemos, por tanto, evitar a toda costa velocidades inferiores. Vemos, además, cómo en el tramo final, tras los cuatro metros por segundo, alcanzamos nuestro objetivo en el menor tiempo posible. Tras este punto, el aumento de la velocidad resultaría inútil.

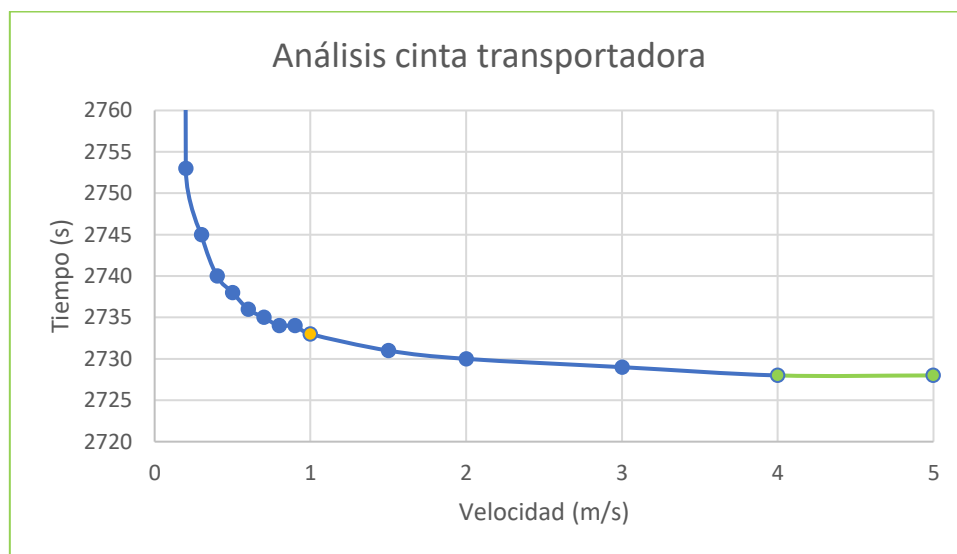


Figura 87: Tiempo-velocidad en cinta transportadora

### 5.3.3.3.2 Longitud de la cinta transportadora

Observando la gráfica de la figura 88, nos damos cuenta que con el aumento de longitud de la cinta cada vez se tarda más en alcanzar la meta establecida. Si nos fijamos, aumentando la longitud en 20 metros tardaríamos 10 segundos más. Esto no tiene sentido, ya que la cinta transportadora avanza a una velocidad de 1 metro por segundo. La explicación a este error reside en que al tener la cinta transportadora múltiples entradas, la simulación aumenta la longitud otorgando la mitad de la variación a cada uno de los extremos. Nos quedaremos, por ello, con la tendencia que nos muestra cómo a menores longitudes requeriremos menos tiempo.

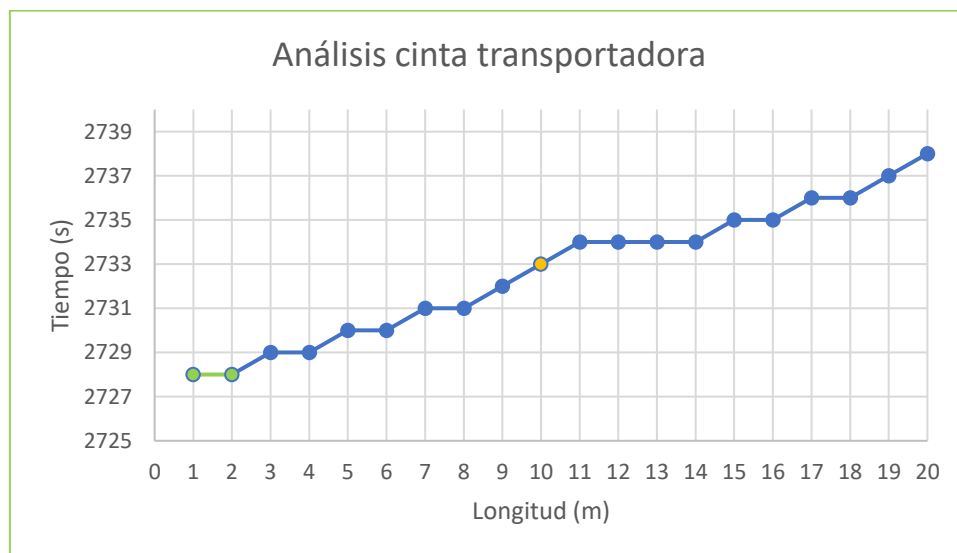


Figura 88: Tiempo-longitud en cinta transportadora

**5.3.3.4 Análisis del control de calidad****5.3.3.4.1 Contenido máximo**

Tal y como vemos en la gráfica de la figura 89, tiene un único aspecto a considerar. Este es que no deberemos trabajar revisando una única botella en el control de calidad. Cualquier cantidad inferior minimiza los tiempos.

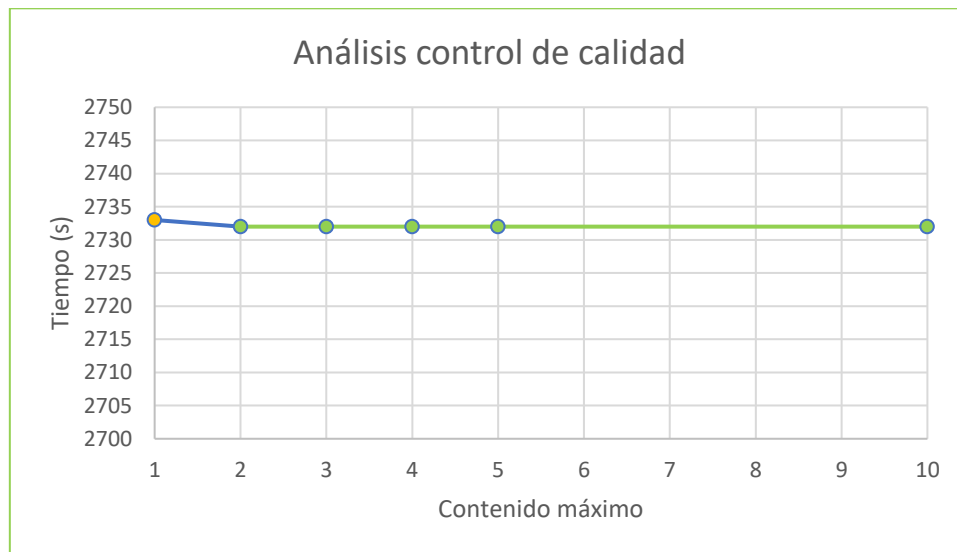


Figura 89: Tiempo-contenido máximo en control de calidad

#### 5.3.3.4.2 Duración del proceso

La gráfica de la figura 90 nos muestra cómo a partir de los 1,3 segundos de duración del proceso los tiempos para lograr nuestros objetivos se van incrementando. Por ello, deberemos procurar duraciones menores. Empleando 0,5 segundos concretamente en la revisión de las botellas, obtendremos los mejores resultados.

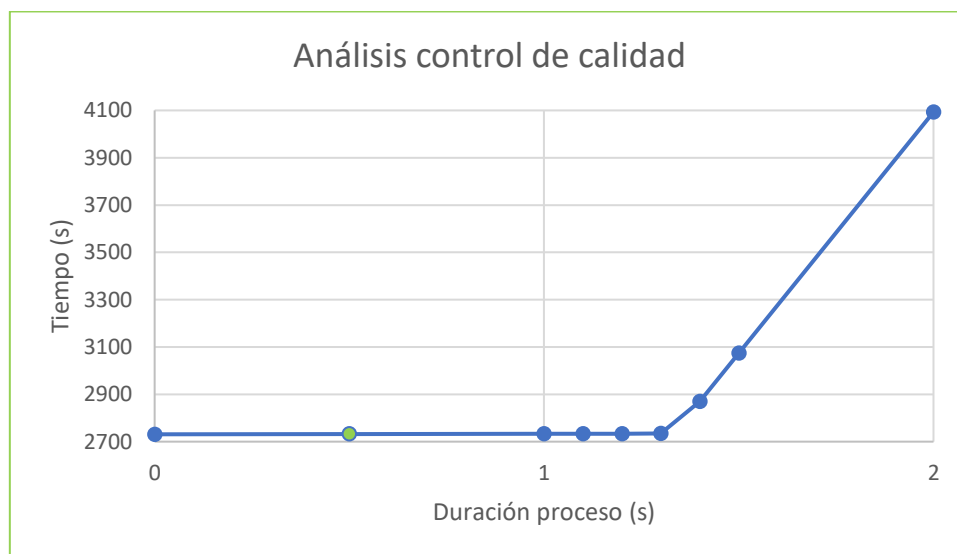


Figura 90: Tiempo-duración proceso en control de calidad

## **6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS**

### **6.1 Conclusiones**

En el presente Trabajo de Fin de Grado se han logrado cumplir los objetivos establecidos en el inicio del documento.

La versatilidad que ofrece el software FlexSim lo hace ideal para realizar de forma exacta el modelado de cualquier proceso industrial. A su amplia biblioteca de modelos 3D debemos sumar que posibilita un alto grado de personalización, al permitir archivos propios CAD. Cuenta con una gran variedad de funciones ya programadas, con las que lograr el funcionamiento deseado. Además, nos permite acceder al código de las mismas y modificarlo a nuestro gusto o incluso diseñarlo desde cero.

Con respecto al apartado de la simulación, FlexSim nos brinda varias herramientas con las que realizar el seguimiento de nuestro proceso, resultando fácil la realización de cambios y múltiples simulaciones que nos permitan obtener los cuellos de botella. Cuenta con una barra que permite aumentar la velocidad de la simulación hasta el valor deseado. Sin embargo, se debe hacer un uso responsable de la misma. Se deberán analizar cuidadosamente los resultados finales obtenidos y comprobar el correcto funcionamiento del proceso a lo largo de la totalidad de la simulación. En mi caso, la inclusión de valores con decimales para ciertos parámetros provocaba el malfuncionamiento y la saturación de procesos, cuando no debía suceder. Esto generaba descensos indebidos en la producción y hubiera falseado el estudio de cuellos de botella en caso de no haberse identificado.

Finalmente, he de añadir que, gracias a este Trabajo de Fin de Grado, se han logrado ampliar las bases de modelado y simulación que ofrece la titulación, mostrando un nuevo horizonte de especialización y dedicación laboral en el mundo de la ingeniería.

## 6.2 Líneas futuras

Una vez realizado el modelado y simulado del proceso industrial productivo, se pueden especificar una serie de líneas que suplementen el proyecto, siguiendo con la línea de reciclado empleada y evitando en la mayor manera posible la producción de desechos. Destacan las siguientes propuestas:

- Añadir un proceso de gestión de las naranjas consideradas malas. Se podría realizar un segundo control de calidad menos exigente y realizar una segunda línea de producción de zumo de naranja de menor calidad.
- Realizar una gestión de las cáscaras de naranja resultantes del proceso de exprimido. Se podrían destinar las mismas a la producción de abono o como alimento de ganadería porcina.
- Incluir una nueva línea de producción de mermelada con la pulpa resultante del proceso de colado.
- Aumentar los tiempos de simulación y estudio, pudiéndose incluir fallos en los procesos o reparaciones programadas.



## 7 BIBLIOGRAFÍA

### 7.1 Descarga del software

- [1] <https://account.flexsim.com/flexsim-express/> [Accedido el 25 Jun. 2020]

### 7.2 Guías y manuales

- [2] FlexSim. FlexSim Manual. (2020).  
<https://docs.flexsim.com/en/20.1/Introduction/Welcome/> [Accedido el 25 Jun. 2020]
- [3] Casadiego Alzate, Rodrigo. Guía de Usuario para el modelamiento y análisis con el Software FlexSim. (2015). Disponible en:  
<https://es.slideshare.net/rodolf22/manual-en-espaol-de-software-flexsim>  
[Accedido el 25 Jun. 2020]
- [4] FlexSim. Tutorial del Simulador FlexSim. (2013). Disponible en:  
[https://profearias.files.wordpress.com/2013/02/tutorial\\_flexsimsp.pdf](https://profearias.files.wordpress.com/2013/02/tutorial_flexsimsp.pdf)  
[Accedido el 25 Jun. 2020]

### 7.3 Vídeos YouTube

- [5] FlexSim Simulation Software. Basic Combiner Use in FlexSim. (2018).  
Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=EjTk49pRW6Y>  
[Accedido el 25 Jun. 2020]
- [6] FlexSim Simulation Software. Using the Separator in FlexSim. (2018).  
Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=LVENDJEcB8Q>  
[Accedido el 25 Jun. 2020]
- [7] FlexSim Simulation Software. Combine and Separate Items in FlexSim. (2018).  
Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=tP7MylbiWCg>  
[Accedido el 25 Jun. 2020]
- [8] FlexSim Simulation Software. One Operator Manning Two Processors in FlexSim. (2018). Disponible en:  
<https://www.youtube.com/watch?v=7iF6i88XnHs> [Accedido el 25 Jun. 2020]

- [9] FlexSim Simulation Software. FlexSim 2020 Core Training: Day 1. (2020). Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=dLj4BG\\_Di1w](https://www.youtube.com/watch?v=dLj4BG_Di1w) [Accedido el 25 Jun. 2020]
- [10] FlexSim Simulation Software. FlexSim 2020 Core Training: Day 2. (2020). Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=Q0VfuD\\_H\\_uM](https://www.youtube.com/watch?v=Q0VfuD_H_uM) [Accedido el 25 Jun. 2020]
- [11] FlexSim Iberia. FlexSim Tutorials 7. (2017). Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=bYtNGcPJfs0> [Accedido el 25 Jun. 2020]
- [12] TIC UTMACH. Simulación con FlexSim de envasado de gaseosa – Simulation to Fill Soda bottles. (2015). Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=iTKWh9JPMxA> [Accedido el 25 Jun. 2020]
- [13] Peoplesake. FlexSim - Fluidos. (2018). Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=OtF4xGHVTQg> [Accedido el 25 Jun. 2020]
- [14] Salazar Gómez, Salvador. FlexSim control de calidad. (2020). Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ApcVbhD1SUU> [Accedido el 25 Jun. 2020]
- [15] Rene Acosta, Victor. Transporter FlexSim. (2012). Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=DHQ2keR-y1A> [Accedido el 25 Jun. 2020]

## Tablas con datos de gráficas

Las tablas mostrarán en naranja el valor inicial y en verde el valor o valores que maximicen el resultado buscado. En caso de que ambos coincidan se indicará empleando el color verde junto con la casilla enmarcada en naranja.

### 1. Producción de zumo de naranja

#### 1.1. Suministro de naranjas

Naranjas cada minuto	Litros de zumo
90	1932,63
91	1953,8
92	1976,53
93	1994,98
94	2018,44
95	2034,69
96	2042,75
97	2042,75
98	2042,75
99	2042,75
100	2042,75

Tabla 1: Naranjas cada minuto en dispensadores

## 1.2. Cintas transportadoras

Velocidad (m/s)	Litros de zumo
0,8	1876,9
0,9	2112,72
0,95	2150,12
0,96	2138,26
0,98	2042,75
1	2042,75
1,01	1651,1
1,02	1821,81
1,05	1821,89
1,06	1821,89
1,07	2131,32
1,08	2138,86
1,1	2138,86
1,11	2138,86
1,12	2138,86

Tabla 2: Velocidad cintas producción zumo

Longitud (m)	Litros de zumo
7	2042,75
8	2042,75
9	2137,66
10	2137,06
11	2136,66

Tabla 3: Longitud cintas producción zumo

## 1.3. Controles de calidad

Contenido máximo	Litros de zumo
6	1899,88
7	2042,72
8	2042,75
9	2042,75
10	2042,75
11	2042,75
12	2042,75

Tabla 4: Contenido máximo control de calidad producción zumo

Duración proceso (s)	Litros de zumo
0	2043,9
1	2043,75
2	2042,75
3	2042,14
4	1569,14
5	1284,32

Tabla 5: Duración proceso control de calidad producción zumo

Naranjas buenas (%)	Litros de zumo
85	2018,03
86	2042,75
87	2042,75
88	2042,75
89	2042,75
90	2042,75
91	2042,75
92	2037
93	2037
94	2037
95	2037
100	2037

Tabla 6: Naranjas buenas control de calidad producción zumo

#### 1.4. Exprimidores

Capacidad máxima (l)	Litros de zumo
1	2042,75
10	2042,75
50	2042,75
100	2042,75
200	2042,75
250	2042,75
300	2042,75

Tabla 7: Capacidad máxima exprimidores producción zumo

Salida máxima (l/s)	Litros de zumo
0,1	477,44
0,2	954,89
0,3	1432,33
0,4	1909,78
0,45	2147,11
0,5	2110,32
0,6	2042,75
1	2042,75

Tabla 8: Salida máxima exprimidores producción zumo

### 1.5. Colador

Capacidad máxima (L)	Litros de zumo
5	2001,84
6	2050,78
7	2050,2
8	2049,63
10	2048,48
12	2047,48
15	2045,62
20	2042,75

Tabla 9: Capacidad máxima colador producción zumo

Entrada/Salida (l/s)	Litros de zumo
0,5	1771,5
0,6	2129,4
0,7	2152,17
0,8	2149,67
0,9	2104,47
1	2042,75
2	2048,15
3	2049,87
5	2051,59
9	2052,16
10	2052,73
11	2052,73

Tabla 10: Entrada/salida colador producción zumo

**1.6. Conducto de distribución**

Contenido máximo(l)	Litros de zumo
3	1330,26
3,5	1686,55
4	2042,75
5	2153,05
6	2153,68
7	2153,68

Tabla 11: Contenido máximo conducto distribución producción zumo

**1.7. Depósito**

Entrada máxima (l/s)	Litros de zumo
0,5	1780,63
0,6	2041,75
0,7	2042,5
0,8	2042,71
0,9	2042,75
1	2042,75
2	2042,75

Tabla 12: Entrada máxima depósito producción zumo

## 2. Reciclado de cajas y botellas

### 2.1. Suministro de cajas con botellas

Cajas cada minuto	Botellas almacenadas	Cajas almacenadas
1	1152	50
2	2256	106
3	2832	128
4	2832	128
5	2832	128

Tabla 13: Suministro de cajas con botellas reciclado

### 2.2. Separador de cajas y botellas

Duración proceso (s)	Botellas almacenadas	Cajas almacenadas
0	2256	106
12	2256	106
19	2256	106
20	2256	102
26	2256	102
27	2219	100
28	2160	99
29	2088	96
30	2040	94

Tabla 14: Duración proceso separador reciclado

### 2.3. Cinta transportadora de botellas

Velocidad (m/s)	Botellas almacenadas
0,1	1440
0,2	2232
0,3	2232
0,38	2256
0,4	2256
1	2256
2	2256
3	2256

Tabla 15: Velocidad cinta botellas reciclado



Longitud (m)	Botellas almacenadas
0	2016
0,2	2122
0,7	2212
0,8	2256
10	2256
30	2256
31	2232
71	2232
73	2208
100	2208

Tabla 16: Longitud cinta botellas reciclado

## 2.4. Cinta transportadora de cajas

Velocidad (m/s)	Cajas almacenadas
0,1	102
0,2	112
0,3	112
0,4	106
0,5	106
0,6	104
0,7	108
0,8	98
0,9	106
1	106
1,1	106
1,2	112
1,3	112
1,4	107
1,5	108
1,6	106
1,7	106
1,8	106
1,9	108
2	108

Tabla 17: Velocidad cinta cajas reciclado

Longitud (m)	Cajas almacenadas
0	104
1	108
2	112
3	108
4	104
5	108
6	106
7	107
8	112
9	106
10	106
11	106
12	100
13	102
14	108
15	108

Tabla 18: Longitud cinta cajas reciclado

## 2.5. Limpieza de botellas

Contenido máximo	Botellas almacenadas
1	1416
2	2256
3	2256
5	2256
10	2256

Tabla 19: Contenido máximo limpieza botellas reciclado

Duración proceso (s)	Botellas almacenadas
0	2256
1	2256
2	2256
2,5	2256
2,6	2184
3	1896
4	1416

Tabla 20: Duración proceso limpieza botellas reciclado

**2.6. Limpieza de cajas**

Tiempo de preparación (s)	Cajas almacenadas
0	107
1	106
1,5	106
2	100
2,5	100
3	106
4	108
5	108
6	108
7	108
8	104
9	104
10	108
11	108
12	99
13	94
15	88

Tabla 21: Tiempo de preparación limpieza cajas reciclado

Duración proceso (s)	Cajas almacenadas
0	102
1	106
2	108
3	104
4	102
5	106
6	112
7	109
8	106
9	107
10	106
11	100
12	106
13	108
14	108
15	108
16	108
17	104
18	104
19	108
20	108
21	99
22	94
23	88

Tabla 22: Duración proceso limpieza cajas reciclado

## 2.7. Control de calidad de botellas

Contenido máximo	Botellas almacenadas
1	2256
2	2256
3	2256
5	2256
7	2256
10	2256
15	2256

Tabla 23: Contenido máximo control de calidad botellas reciclado

Duración proceso (s)	Botellas almacenadas
0	2256
1	2256
2	2256
2,5	2256
2,6	2173
3	1896

Tabla 24: Duración proceso control de calidad botellas reciclado

Botellas buenas (%)	Botellas almacenadas
70	1968
75	2112
80	2256
85	2400
90	2544
95	2688
100	2837

Tabla 25: Botellas buenas control de calidad botellas reciclado

## 2.8. Control de calidad de cajas

Duración proceso (s)	Cajas almacenadas
0	102
0,5	106
0,8	110
0,9	112
1	112
1,3	112
2	109
3	107
4	107
5	106
6	100
7	106
8	108
9	108
10	108
15	108
16	99
17	94

Tabla 26: Duración proceso control de calidad cajas reciclado

Cajas buenas (%)	Cajas almacenadas
70	80
75	84
80	92
85	98
90	106
95	112
99	116
100	118

Tabla 27: Cajas buenas control de calidad cajas reciclado

## 2.9. Traslado de botellas

Botellas por viaje	Botellas almacenadas
1	2271
5	2265
7	2268
10	2261
13	2262
15	2265
17	2261
20	2260
22	2266
24	2256
27	2256
30	2250
35	2240
40	2240
45	2250
50	2250

Tabla 28: Botellas por viaje traslado botellas reciclado

Velocidad paleta (m/s)	Botellas almacenadas
0,05	1424
0,1	2232
0,15	2232
0,2	2224
0,25	2232
0,3	2232
0,35	2233
0,4	2256
0,5	2256
1	2256
2	2256
5	2256
10	2256

Tabla 29: Velocidad paleta traslado botellas reciclado

Carga y descarga (s/ud)	Botellas almacenadas
0	2256
0,1	2256
0,2	2256
0,5	2256
0,8	2256
1	2237
1,3	2256
1,5	2256
1,6	1964
1,8	1772
2	1576

Tabla 30: Carga y descarga traslado botellas reciclado

**2.10. Traslado de cajas**

Cajas por viaje	Cajas almacenadas
1	107
2	106
3	105
4	104
5	105
6	102
7	105
8	104
9	99
10	100
15	105
20	100

Tabla 31: Cajas por viaje traslado cajas reciclado

Velocidad paleta (m/s)	Cajas almacenadas
0,1	98
0,2	102
0,3	104
0,5	104
0,6	106
1	106
2	106
4	106
10	106

Tabla 32: Velocidad paleta traslado cajas reciclado



Carga y descarga (s)	Cajas almacenadas
0	106
1	106
2	106
4	106
7	106
10	106
15	106
19	106
20	105
23	104
28	104
29	100
35	84

Tabla 33: Carga y descarga traslado cajas reciclado

### 3. Producto final embotellado

#### 3.1. Embotellado

Duración proceso (s)	Tiempo (s)
0	2731
0,5	2731
1	2732
1,5	2731
2	2733
2,5	2732
3	2734
3,5	2733
4	2735
4,6	2803
4,7	2871
4,8	2939

Tabla 34: Duración proceso embotella producto final

#### 3.2. Etiquetado y taponado

Duración proceso (s)	Tiempo (s)
0	2048
0,5	2049
1	2049
1,5	2050
2	2050
2,5	2051
3	2052
3,5	2393
4	2733
4,5	3073
5	3413
7	4094
10	6818

Tabla 35: Duración proceso etiquetado y taponado producto final

### 3.3. Cinta transportadora

Velocidad (m/s)	Tiempo (s)
0,1	4123
0,2	2753
0,3	2745
0,4	2740
0,5	2738
0,6	2736
0,7	2735
0,8	2734
0,9	2734
1	2733
1,5	2731
2	2730
3	2729
4	2728
5	2728

Tabla 36: Velocidad cinta transportadora producto final

Longitud (m)	Tiempo (s)
1	2728
2	2728
3	2729
4	2729
5	2730
6	2730
7	2731
8	2731
9	2732
10	2733
11	2734
12	2734
13	2734
14	2734
15	2735
16	2735
17	2736
18	2736
19	2737
20	2738

Tabla 37: Longitud cinta transportadora producto final

### 3.4. Control de calidad

Contenido máximo	Tiempo (s)
1	2733
2	2732
3	2732
4	2732
5	2732
10	2732

Tabla 38: Contenido máximo control de calidad producto final

Duración proceso (s)	Tiempo (s)
0	2731
0,5	2732
1	2733
1,1	2733
1,2	2733
1,3	2734
1,4	2870
1,5	3074
2	4093

Tabla 39: Duración proceso control de calidad producto final

## Archivos FlexSim

Para la realización de este Trabajo de Fin de Grado se ha realizado el modelado y simulación de tres procesos productivos empleando el software FlexSim:

- Producción de zumo de naranja.fsm
- Reciclado de cajas y botellas.fsm
- Producto final embotellado.fsm

Los archivos mencionados están incluidos y podrán ser encontrados en la versión digital del Trabajo de Fin de Grado.